

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Rozšíření senzorického subsystému mobilního robotu Hercules

Completion of the Sensory Subsystem of the Mobile Robot Hercules

Student:

Jiří Kotrla

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Kot

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Kotrla**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: **Rozšíření senzorického subsystému mobilního robotu Hercules**  
**Completion of the Sensory Subsystem of the Mobile Robot Hercules**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši dostupných senzorů vhodných pro použití v mobilní robotice.
2. Proved'te analýzu současného stavu senzorického subsystému robotu Hercules a navrh'něte vhodné rozšíření pro usnadnění navigace operátorem ve stísněných prostorech.
3. V systému Pro/ENGINEER vypracujte konstrukční řešení držáků, krytů a případných polohovacích zařízení jednotlivých senzorů.
4. Promyslete začlenění získávání a přenosu dat senzorů do existujícího řídicího systému robotu a navrh'něte možné způsoby prezentace operátorovi.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému Pro/ENGINEER.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha : Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32 s.

NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. Ostrava : VŠB-TU, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

[http://www.acroname.com/robotics/parts/c\\_Sensors.html](http://www.acroname.com/robotics/parts/c_Sensors.html)

<http://www.sick.cz/cz/produkty/00/00/00/0/cs.html>

<http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kot**

Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



---

prof. Dr.Ing. Petr Novák  
*vedoucí katedry*

---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
*děkan fakulty*

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20.5.2010



Jiří Kotrla

Na Kopci 2134/50, Karviná – Mizerov, 734 01

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Kotrla, J. *Rozšíření senzorického subsystému mobilního robotu Hercules : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2010 53 s. Vedoucí práce: Tomáš Kot.

Práce se zabývá rozšířením počtu senzorů na podvozku servisního robotu, z důvodu lepší orientace ve vnitřních prostorech. V úvodu byla provedena rešerše dostupných senzorů na trhu a podrobněji rozepsány již používané senzory na robotu. Byly uvedeny tři možné varianty řešení, kdy po provedení hodnotové analýzy byla zvolena výsledná varianta a ta byla více propracovaná. Dále byly nakresleny 3D modely krytů těchto senzorů a návrhy možného zobrazení operátorovi. Jako poslední bylo promyšleno začlenění přenosu a získávání dat senzorů do existujícího řídicího systému robotu.

## **ANOTATION OF BACHELOR THESIS**

Kotrla, J. *Completion of the Sensory Subsystem of the Mobile Robot Hercules: Bachelor thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2010 53 p. Thesis head: Tomáš Kot.

This thesis deals with extending of the number of sensors on the chassis of a service robot for better orientation in the indoor areas. There was search of available sensors on the market performed and the sensors used on the robot were described in detail in the introduction. Afterwards, three potential alternatives are presented. The final alternative was selected after the value analysis and then was more elaborated. Further were drawn 3D models of the sensors covers and lay-outs of possible operator views. Finally the integration of acquisition and transmission of sensor data into existing control system of the robot was thought over.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	7
0 Úvod .....	8
1 Sensory použitelné v mobilní robotice .....	9
1.1 Sensory na detekci překážek .....	9
1.1.1 Taktilní senzory .....	9
1.1.2 Infračervený detektor překážek .....	9
1.1.3 Sonary .....	13
1.1.4 Bezpečnostní laserové skenery .....	19
1.2 Sensory pro orientaci v prostoru .....	21
1.2.1 Akcelerometry .....	21
1.2.2 Elektronický kompas .....	21
2 Návrh variant rozšíření sensorického subsystému robotu .....	23
2.1 Robot Hercules .....	23
2.2 Varianta číslo jedna: .....	25
2.3 Varianta číslo dvě .....	26
2.4 Varianta číslo tři .....	27
2.5 Hodnotová analýza .....	28
3 Vítězná varianta .....	31
3.1 Sonar SRF08 .....	31
3.2 Laserový skener HOKUYO UBG-04LX-F01 .....	33
3.3 IR detektor překážek Sharp GP2D12 .....	35
4 Získávání dat .....	38
4.1 Sensory SHARP GP2D12 .....	38
4.2 Sonary SRF08 .....	41
4.3 Laserový skener HOKUYO R313 .....	42
4.4 Blokové schéma zapojení senzorů .....	42
5 Přenos dat .....	43
5.1 Vrstva UDP .....	43
6 Zobrazení operátorovi .....	46
6.1 Zobrazení hokuyo .....	46
6.2 Zobrazení sonarů SRF08 .....	47
6.3 Zobrazení IR senzorů Sharp GP2D12 .....	48
6.4 Aplikace HUD zobrazení na operátorském monitoru .....	49
7 Závěr .....	52
8 Použitá literatura .....	53

## Seznam použitých značek a symbolů

A/D	Analogové / Digitální
apod.	A podobně
GND	Uzemnění
IR	Infračervený
I2C	Počítačová sériová sběrnice
IPv4	Čtvrtá revize IP
LED	Svítivá dioda
RS 232	Sériová linka
Standby	Pohotovostní stav
TTL	Tranzistorově - tranzistorová logika
V/V	Vstupně / Výstupní
$V_{cc}$	Napájení
Wi-fi	Lokální bezdrátové síť

## 0 Úvod

Cílem této práce je rozšíření senzorického subsystému robotu Herkules pro usnadnění práce operátora a lepší orientaci ve vnitřních prostorech. Herkules patří mezi servisní roboty, který byl vyvinut pro hasičský sbor.

Servisní roboti jsou určeny pro práci pomocného charakteru a práci v oblasti služeb. Tento druh robotů se dá dělit na dva druhy a to autonomní robotické systémy (ARS) a dálkově ovládané. Dálkově ovládaní roboti jsou řízeni operátorem za pomoci operátorských stanovišť, které se nevyskytují přímo v prostorech, kde se daný robot pohybuje. Tudiž z toho vyplývá problém s orientací robotu v daném prostředí. K tomu slouží senzorické systémy, které napomáhají operátorovi a udávají mu co se děje v okolí robotu. Tyto senzory se umísťují na kostru robotu a to na takovém místě, aby zabraly co největší okolní prostor a nezasahovaly příliš do pracovního prostoru robotu.

Tyto data se musí operátorovi nějakým způsobem zobrazit a to tak, aby tento druh zobrazení byl stručný a intuitivní, kvůli plynulému chodu robotu.



# **1 Senzory použitelné v mobilní robotice**

## **1.1 Senzory na detekci překážek**

Slouží k zjišťování informací o okolí zařízení. Podle způsobu měření dělíme senzory na dva druhy. Jedná se o pasivní, vyhodnocující pouze přijaté záření z okolí robotu. Další skupina jsou aktivní, jež vyhodnocují vlastní odražené záření. Smyslnost implantovat senzory na robot mají jen ty senzory, které slouží výhradně k jeho navigaci. Úkolem navigace je zjištění orientace a polohy robotu k použitému souřadnému systému. Většina senzorů na výstupu neudává přímo polohu daného robotu, tudíž se musí ještě vypočítat.

### **1.1.1 Taktilní senzory**

Jedná se o nejjednodušší provedení senzoru, nejčastěji realizované kontaktním snímačem. Aktivací spínače – dotykem překážky – dojde sepnutí/rozepnutí elektrického obvodu a ke změně logické úrovně, která je dále vyhodnocována. Takto koncipované připojení taktického senzoru vyžaduje napojení každého spínače odděleně. Pokud není spínač aktivován, je na příslušném výstupu vysoká logická úroveň, při jeho aktivaci je na výstupu nízká úroveň. Takto zvolené úrovně dovolují napojení vstupu přímo na přerušovací vstup daného mikroprocesoru, protože ten bývá většinou aktivní na úroveň log. 0, nebo týlovou hranu.

Mezi dotykové – taktilní senzory také patří tenzometry a senzory založené na piezoelektrickém jevu. Tyto typy senzorů (ve vhodném zapojení) poskytují spojitý signál a používají se např. u kolizí s překážkou [2].

### **1.1.2 Infračervený detektor překážek**

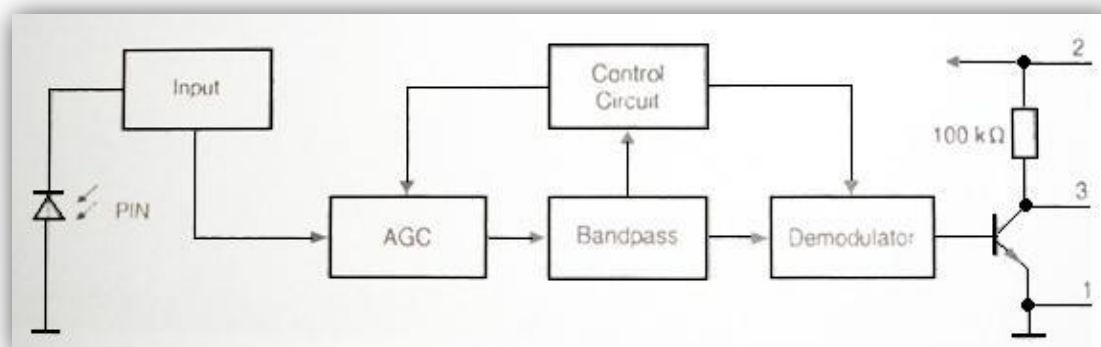
Infračervený detektor překážek (IR detektor/senzor) slouží k detekování překážek v blízkém okolí robotu – řádově desítky centimetrů, nazývá se též „Near proximity senzor“. Pro větší vzdálenosti se používá jiných principů – viz dále. Tyto detektory jsou necitlivé na infračervené světelné záření jiných vlnových délek, ale jsou citlivé v oblasti vlnových délek pod viditelným světlem, nejčastěji kolem vlnové délky 880 nm. Principem IR detektoru překážek je detekce odraženého infračerveného světla od překážky. Toto světlo je emitováno infračervenou (dále IR) LED diodou. Jako detektor bývá použit fototranzistor citlivý v infračervené

oblasti (IR tranzistor), nebo IR fotocitlivá dioda. Tento senzor poskytuje dvouhodnotový signál – detekuje odražený IR signál/nedetekuje odražený IR signál, respektive detekuje překážku/nedetekuje překážku. Nevýhodou IR senzorů pracujících na principu detekce odraženého IR světla je, že množství odraženého světla je závislé na barvě překážky a druhu povrchu. Pro úplnost dodejme, že intenzita emitovaného (a samozřejmě i odraženého) IR světla je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti.

V praxi je zpravidla IR fototranzistor nahrazen, respektive doplněn specializovaným IR přijímačem s integrovaným demodulátorem (jako např. Sharp GPU52X, Siemens SFH506, SFH5110 apod.). Výhodou těchto modulů (díky zabudovanému demodulátoru) je, že jsou citlivé pouze na modulované IR záření o určité vlnové délce generované IR LED diodou (vysílačem). Modulační kmitočet bývá nejčastěji 36,38,48,56 kHz. Důvodem použití modulace je eliminování vlivu IR záření v okolním světě.

Vzhledem k výše uvedenému principu využívajícího modulovaného infračerveného světla je tedy zapotřebí buzení IR LED modulovat. To je v zásadě možné řešit hardwarově nebo softwarově. Ještě jednou zopakujeme, že modulací generovaného IR světla docílíme vyšší odolnosti IR přijímače vůči rušivému okolnímu světlu a jeho použití v praxi je nezbytné.

Pro konstrukci IR senzoru je zapotřebí pouze několika součástek – IR LED (vysílač), detektor (např. SFH506) a odpory. Je zapotřebí dále modulovaný signál ještě modulovat nižším kmitočtem pro správnou funkci detektoru. Perioda této modulace, která však není kritická. Bývá zpravidla větší než 1 ms (v datasheetu konkrétního IR senzoru bývá uvedena její velikost). Na *obr. 1.1* je zřejmý její možný průběh [1].



**Obr. 1**      *Blokové schéma IR přijímače/demodulátoru (SFH506)*

## Popis činnosti

Senzor založený na výšce uvedeného principu bývá vhodný k detekci blízkého okolí robota. Sensorický subsystém mobilního robota je vhodně vybavit alespoň dvěma koncovými senzory. Pak je možné detekovat polohu překážky například vlevo nebo vpravo. Ten potom detekuje polohu překážky podle toho, která IR LED generovala IR signál. Nejprve je v několika periodách generován modulovaný signál levou IR LED. Jestliže se překážka nachází v pracovním dosahu citlivosti detektoru, ten bude detekovat na svém výstupu překážku. Následně je provedena stejná procedura pro pravou IR LED diodu [1].

### GP2D12

Jedná se o IR senzor firmy Sharp, který měří vzdálenost k překážce na principu triangulace v rozsahu vzdáleností od 10 do cca 80 cm. Senzor lze snadno připojit přímo na vstupně - výstupní linky mikroprocesoru.

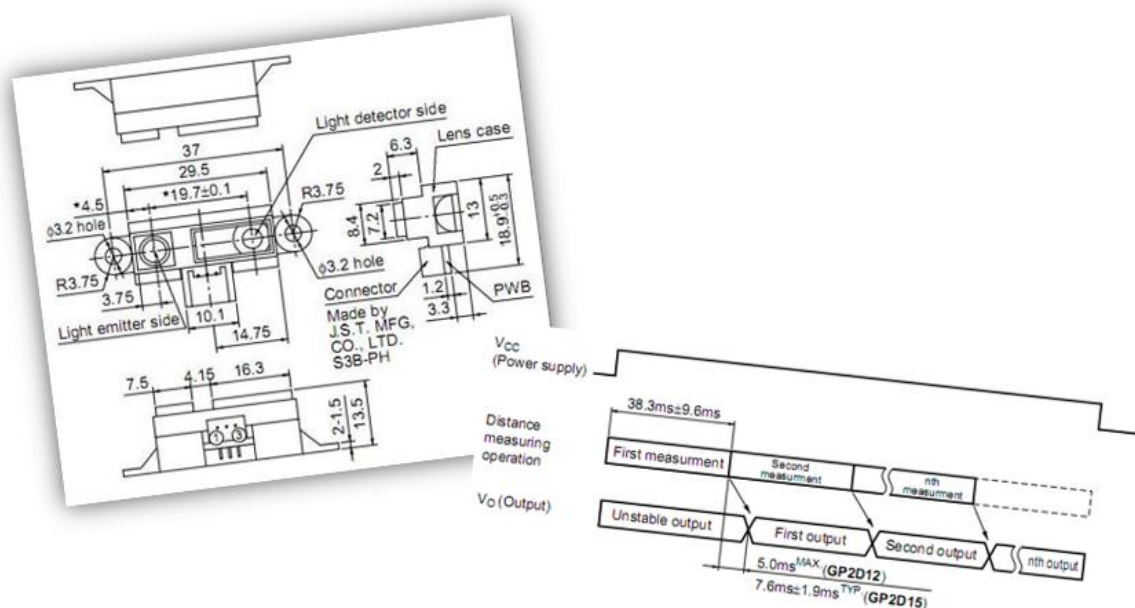


**Obr. 2** Na levé straně je samotný senzor GP2D12 a napravo je princip měření

#### Základní vlastnosti:

Provozní napájecí napětí:	4,5 až 5,5 V,
Průměrný nap. proud:	33 až max. 55 mA,
Pracovní teplota:	-10 Až +60 ° C,
Rozsah:	4 cm až 30 cm,
Rozměry:	44,5 x 19 x 13,5 mm

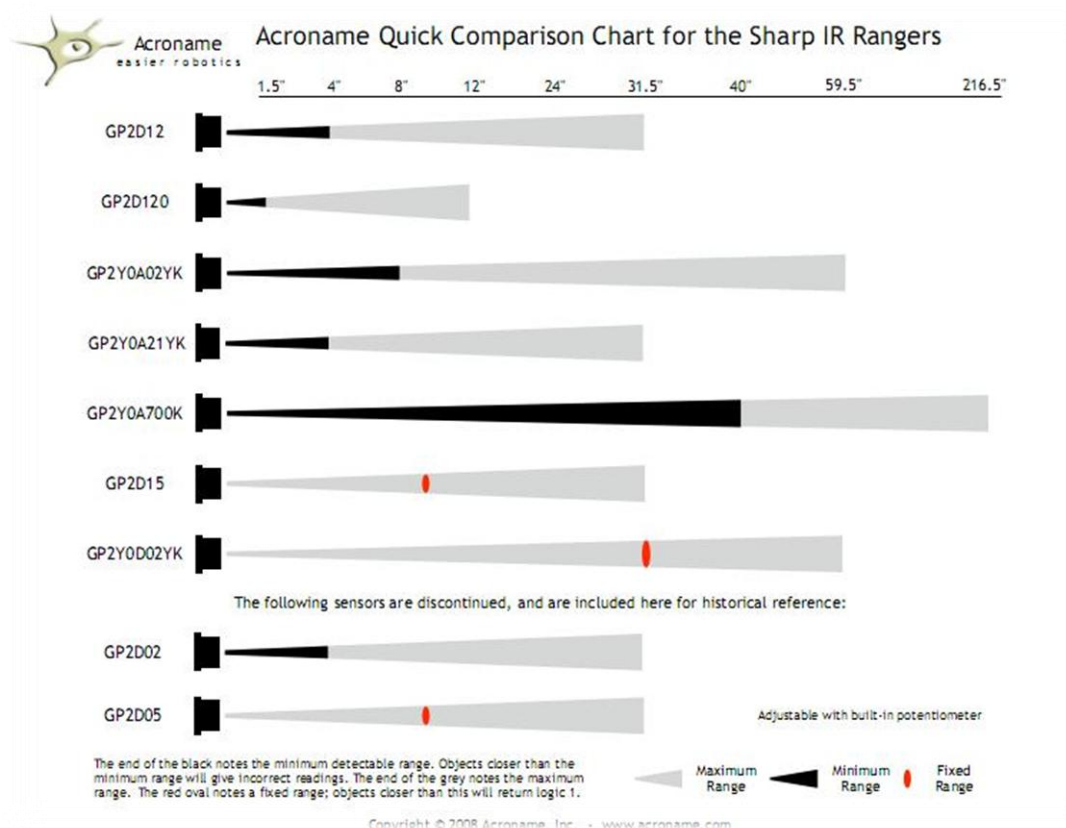
Princip tohoto měření je jednoduchý. Na jedné straně senzoru je vysílací IR LED dioda a na druhé straně je speciální IR citlivá dioda s výstupním signálem úměrným místu osvitu (nikoli intenzitě). V první fázi vyšle IR LED dioda paprsek. Ten se odrazí od překážky a přes čočku (součást senzoru) je přijat IR citlivou diodou. Poloha, ve které paprsek dopadne na fotodetektor, je závislá na vzdálenosti od překážky, viz obr 1.2



**Obr. 3** Rozměry a časový diagram senzoru GP2D12

Výhodou tohoto senzoru je, že poskytuje informaci o vzdálenosti k překážce (do cca 80 cm) a ne pouze informaci zda překážka je v dosahu měření, či nikoli. Nevýhodou může být nelineární údaj o vzdálenosti a době měření přes 70 ms. Výhodou je pak kompaktnost modulu, který se k mikroprocesoru připojuje pouze dvěma v/v linkami. Mikroprocesor jednou vstupní linkou provádí start měření a následné generování hodinových pulzů a druhou vstupní čte sériově posílaný údaj o vzdálenosti k překážce. Poznamenejme zde, že citlivost senzoru je do jisté míry závislá na barvě a povrchu překážky.

Kromě zmiňovaného IR senzoru GP2D12 vyrábí firma Sharp i další typy. Liší se převážně dosahem senzoru *obr. 4*. Tento výrobce taky nabízí IR senzory s logickým výstupem – překážka detekována (v daném nastavitelném rozsahu) – překážka nedetekována. Například typ GP2D15 má přednastavenou vzdálenost 24 cm. Bližší informace o těchto senzorech lze získat na internetových stránkách prodejce [3].

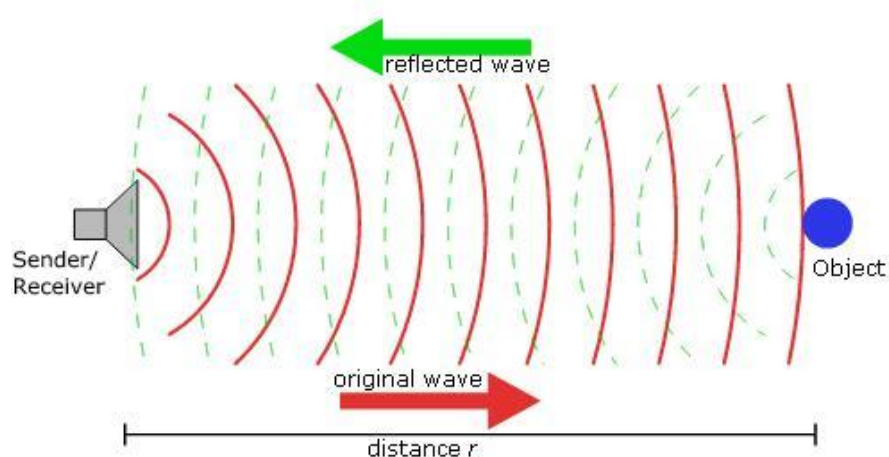


**Obr. 4** Přehled senzorů firmy Sharp.

### 1.1.3 Sonary

Princip měření vzdálenosti podnětu od sonaru je založen na tzv. echolokaci, což je postup, kdy se vysílaný zvuk od předmětu odrazí zpět do místa vysílání, kde je zpětně zachycen. Z celkového času, který uplyne od okamžiku vyslání zvukové vlny (obvykle vysokofrekvenčního zvuku) do okamžiku zpětného příjmu odražené vlny (ozvěny neboli echa), se dá spočítat vzdálenost alokovaného předmětu. Nejběžnější frekvence akustického signálu jsou hodnoty nad 40 kHz. Takové senzory jsou označovány jako ultrazvukové sonary, případně pouze

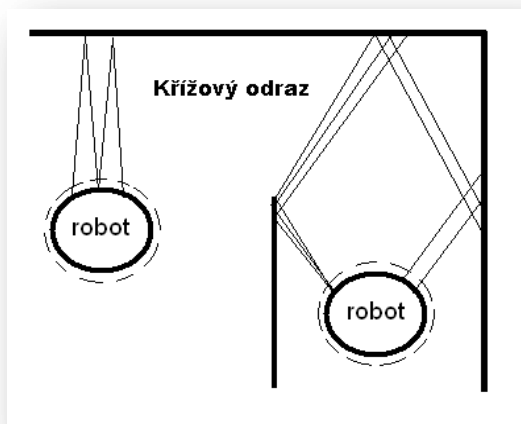
sonary. Díky relativně nízké rychlosti zvuku (ve vzduchu) je doba mezi vysíláním a přijímáním signálu výrazně vyšší než u radarových, laserových a také IR senzorů. Proto dosahujeme relativně vysoké přesnosti měření, taktéž jejich cena je poměrně přijatelná, ale perioda měření je poněkud vyšší (0,1 s). Nevýhodou je také vysoké tlumení ultrazvukového signálu, což omezuje praktický dosah na délku maximálně cca 10 m.



**Obr. 5**      *Princip provozu sonaru.*

Vzhledem k poměrně širokému rozptylu tohoto signálu není možno překážku detekovat velmi přesně, co se týče její úhlové pozice. Dále častým jevem je tzv. křížový odraz viz obr. 6. Jedná se o zaznamenání odrazu signálu vyslaného jiným senzorem, což znehodnotí vlastní měření. Problém se řeší sériovým měřením těchto senzorů v prodlevách, zaručujících utlumení signálu předchozího měření. Omezit tento vliv lze také vhodnou orientací těchto senzorů tak, aby bylo riziko příjmu odraženého signálu co nejnižší a senzory plnily požadovanou funkci. Dalším problémem bývá odraz ultrazvukového signálu, který dopadá na hladký povrch překážky pod ostrým úhlem (nazývá se zrcadlový odraz).

V takovém případě se signál odrazí dál směrem od sonaru a zpětně se odrazí až od vzdálenější překážky. Sonarem je pak detekována vzdálenější překážka. Proto by měla být časová prodleva mezi jednotlivými měřeními větší než prodleva odpovídající maximálnímu dosahu sonaru [1].



**Obr. 6**      *Problém odrazu akustického signálu, při paralelní práci více sonarů.*

Důležitým aspektem je potom rozmístění těchto sonarů na robotu. Toto rozmístění by se mělo slučovat s nasazením robota do určitého prostředí. Rozmístění sonarů se bude určitě lišit u robotů používaných v uzavřeném a otevřeném prostředí. Převážně se používá větší počet senzorů na čelní ploše robotu, aby bylo docíleno celkového výhledu. Také se aplikují boční snímače pro zjištění okolí kol. Dobrou kombinací těchto předpokladů se pak robot může uplatnit kupř. „v projíždění koridoru v místnosti“ a podobně.

## Sonar SRF04

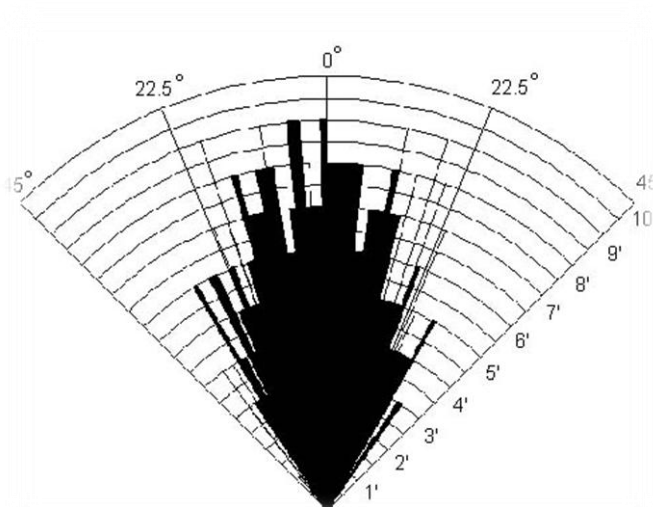
Ultrazvukový sonar SRF04 (viz obr. 1.7) pro měření vzdáleností objektu v rozmezí 3 cm až 3 m. Vstup (Trigger input) a výstup (Echo pulse) jsou v úrovni TTL. Délka trvání vstupního impulsu „Echo“ na výstupu „Echo pulse Output“ je přímo úměrná dvojnásobku vzdálenosti k překážce. Pokud není sonarem detekována žádná překážka, je doba echa přibližně 36 ms. Označení vývodu je zachyceno na obr. 7.



**Obr. 7** Sonar SRF04, na pravém obrázku je zobrazeno zapojení vývodů.

### **Základní vlastnosti:**

Napájení: 5 V/30 mA, (3 mA v Standby režimu),  
 Kmitočet: 40 kHz,  
 Rozsah: 3 cm až 3 m,  
 Citlivost: detekovat překážku o průměru 3 cm na vzdálenosti cca 2 m  
 Rozměry: 43 x 20 x 17 mm

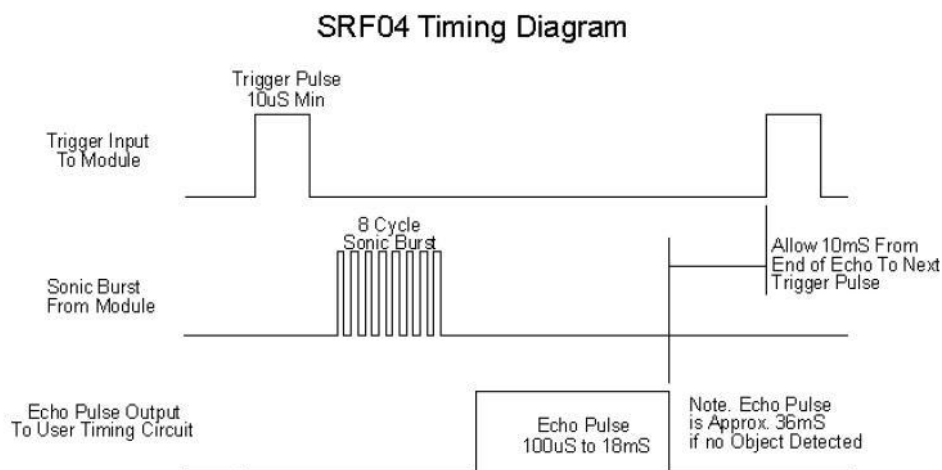


**Obr. 8** Vyzařovací diagram sonaru SRF04 (rozměry jsou uvedeny ve stopách).

Postup ovládání sonaru je následující – viz taky obr. 9.

1. Start: na vstupu sonaru vyšleme pulz log. 1 o trvání minimálně 10 $\mu$ s.
2. Měření: měříme dobu pulzu na výstupu „Echo“.
3. Opakování: počkat minimálně 10 ms a pokračovat v dalším měření.





**Obr. 9** Časový diagram sonaru SRF04.

## Sonar SRF05

To samé jako verze SRF04 akorát inovována o LED indikátor a zvýšení rozsahu na 4 m.

## Sonar SRF08

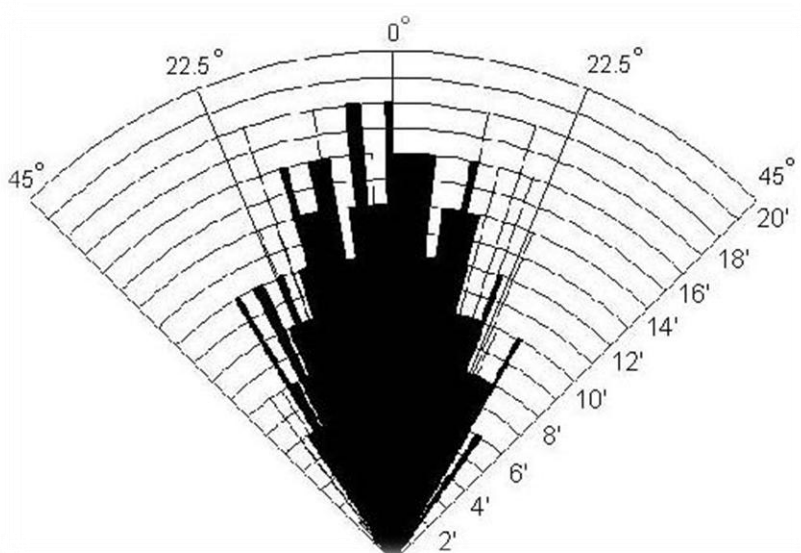
Sonar SRF08 (viz obr. 10) je pokračovatel verze SRF04. Ovládá vše, co jeho předchůdce a navíc je schopen změřit vícenásobné echo a umožňuje nastavit řadu svých parametrů (např. může nastavit rozsah měřené vzdálenosti, dále výkon vysílače emitující ultrazvukový signál atd.). Hlavní výhodou tohoto sonaru oproti SRF04 je jeho měřicí dosah, nižší spotřeba a navíc provádí vlastní interní načasování návratu echa. SRF08 je také vybaven LDR pro měření úrovně osvětlení [3].



**Obr. 10** Sonar SRF08, na levé straně čelní pohled na sonar (uprostřed sonaru lze vidět detektor světla LDR) a na pravém obrázku je zobrazeno zapojení vývodů.

### **Základní vlastnosti:**

Napájení: 5 V/15 mA, (3 mA v Standby režimu),  
Kmitočet: 40 kHz,  
Rozsah: 3 cm až 6 m,  
Připojení: I<sup>2</sup>C sběrnice,  
Měření: Vícenásobné echo, paměť pro prvních 16 ech (umožňuje měření skrze „otevřené dveře“), dále režim měření s formátem naměřených dat vhodných pro neuronovou síť,  
Jednotky: volitelně  $\mu$ s, mm, nebo palce,  
Rozměry: 43 x 20 x 17 mm



**Obr. 11** Vyzařovací diagram sonaru SRF08 (rozměry jsou uvedeny ve stopách)

### **Světelný senzor (LDR)**

Sonar SRF08 má navíc zabudován senzor světla. Měření tohoto senzoru je prováděno během každého měření vzdálenosti. Výstupní digitalizovaná hodnota je uvedena ve vnitřním registru senzor světla na adrese 1. Obsah je přímo úměrný jasů měřeného světla (minimální hodnota = tma, maximální, kolem F8H = max. jas) [3].

## **Spotřeba modulu**

Jednou z velkých předností tohoto sonaru je jeho průměrná spotřeba – 15 mA/5 V, která je oproti jeho předchůdcům SRF04 a SRF05 (50 mA/5 V) velice nízká. Díky tomuto zlepšení není problém napájet více senzorů z malého zdroje napětí (baterka, apod.). Navíc SRF08 se dokáže po skončeném měření a čekání na další příkaz přepnout do pohotovostního režimu (Standby), ve kterém odebírá proud pouhých 3 mA. Další podrobnější informace najdete na webu [3].

### **1.1.4 Bezpečnostní laserové skenery**

Laserové skenery fungují na principu měření doby průletu. Skener vysílá infračervený laserový paprsek v jedné rovině tvořící detekční oblast. Když je zjištěna přítomnost objektu, světlo se odrazí zpět k laserovému skeneru. Skener na základě času mezi vysláním a přijetím laserového paprsku vypočte vzdálenosti objektu. Existují dva uživatelsky definované typy bezpečnostních zón: bezpečnostní zóna (označovaná také jako ochranná zóna nebo ochranné pole) a výstražná zóna (označovaná také jako výstražné pole). Vstoupí-li někdo do výstražné zóny, laserový skener vydá signál, který lze spojit se zvukovým alarmem nebo vizuální indikací.

Laserový skener nabízí několik výhod. Zaprvé jde o nekontaktní metodu, která minimalizuje rušivé zásahy do provozu stroje a zadruhé je obvykle nainstalován u paty stroje a mimo oblast činnosti zařízení, takže umožňuje plný přístup k pracovní oblasti. Laserové skenery se snadno konfigurují, a proto je jednoduché měnit prostorové rozložení pracovní buňky. K dalším výhodám patří diagnostika pro usnadnění odstraňování chyb; menší množství kabelů vedených zpět k řídicím prvkům, což omezuje problémy s kabely; komponenty neprovádějící mechanický cyklický pohyb, což zajišťuje nižší náklady na údržbu než u elektromechanických bezpečnostních zařízení; obtížnější odstavení nebo obejití skeneru. Díky těmto výhodám je trvale zajištěno bezpečné pracovní prostředí, dokonce i v okolí vysoce repetitivních úkonů, kde se na bezpečnost občas zapomíná [4].

## Hokuyo UBG-04LX-F01

Je laserový senzor pro snímání prostoru. Světelný zdroj infračerveného senzoru je laser o vlnové délce 785nm. Skenovací plocha je 240° půlkruh s maximálním Poloměr 4000 mm. Roztečný úhel je 0,36° a výstupy čidla měří vzdálenost na každém místě. Průměr laserového paprsku je na vzdálenosti dvou metrů menší než 20 mm. Maximální odchylka ve vzdálenosti 4 metrů je 40 mm. Tento snímač je určen pouze pro vnitřní použití. Tento skener skenuje proti směru hodinových ručiček.



Princip měření vzdálenosti je založeno na výpočtu fázového rozdílu, v důsledku kterého je možné získat stabilní měření s minimálním vlivem od objektu a barvy odrazivosti [3].

**Obr. 12** Laserový senzor UBG-04LX-F01 pro snímání prostoru od firmy Hokuyo.

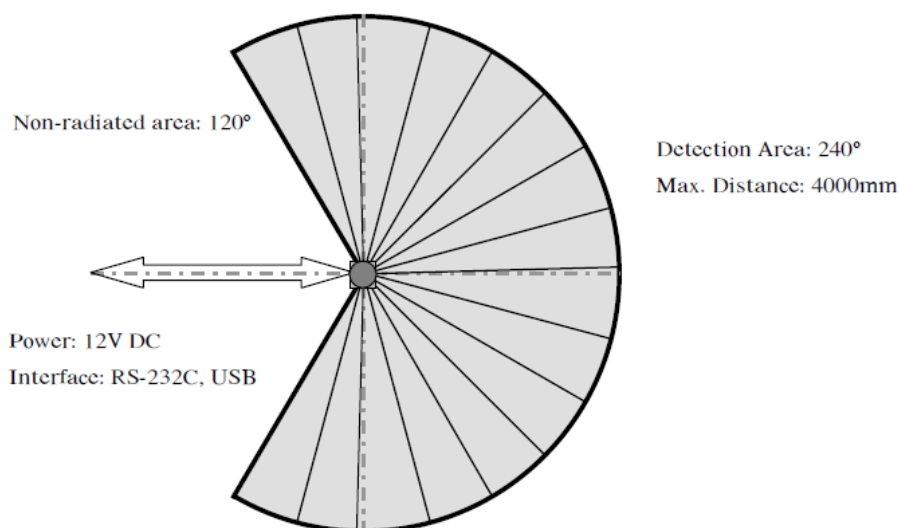


Figure 1

**Obr. 13** Obrázek ukazuje detekovatelný prostor pro bílý list (80 mm × 80 mm). Detekční vzdálenost se může lišit s velikostí a druhem objektu.

**Základní vlastnosti:**

Napájení:	12 V DC
Spotřeba proudu:	370 mA
Detekční vzdálenost:	60 až 4,095 mm
Úhel skenování:	240°
Doba skenu:	28 ms
Rozhraní:	RS-232C (19.2, 57.6, 115.2, 500, 750 kbps) USB 2.0 (Full Speed)
Provozní teplota:	-25 až 75° C
Rozměry:	60 x 60 x 75 mm

## **1.2 Senzory pro orientaci v prostoru**

### **1.2.1 Akcelerometry**

Akcelerometr je senzor, který využívá setrvačnosti hmoty pro měření rozdílu mezi kinematickým zrychlením (vzhledem k určitému inerciálnímu prostoru) a gravitačním zrychlením. Trendem v oblasti vývoje je příklon k MEMS (mikro - elektromechanickým) akcelerometrům. Klasické mechanické senzory jsou tak v dnešní době nahrazovány součástkami vyrobenými touto MEMS technologií, které mají mnohem menší rozměry, nižší energetickou spotřebu a podstatně nižší cenu. Výhodou použití inerciální navigace s akcelerometrem je tzv. soběstačnost tohoto navigačního systému, což znamená, že pro funkci nejsou nutné žádné externí objekty. Nevýhodou těchto součástek je zatím stále nedostatečná přesnost pro mnohé aplikace [7].

### **1.2.2 Elektronický kompas**

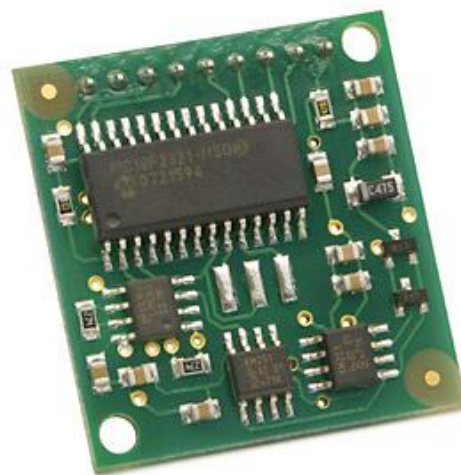
Jako další možné osazení podvozku pro orientaci v prostoru je elektronický kompas, který bude operátorovi udávat směr jízdy vůči světovým stranám.

## Devantech Compass R117

Tento velmi malý kompas byl navržen firmou Robot Electronics speciálně pro použití v robotech pro lepší orientaci. Kompas využívá snímací magnetické pole KMZ51 Philips, který je dostatečně citlivý pro detekci zemského magnetického pole. Funkčnost tohoto výrobku je taková, že senzory na tomto plošném spoji nám udávají horizontální složky převládajícího magnetického toku. Kompas musí být namontován ve vodorovné poloze a měnící se naklonění kompasu bude mít vliv při čtení [3].

### Základní vlastnosti:

Napájení:	5 V
Spotřeba proudu:	20 mA
přesnost:	3-4 stupně
Rozhraní:	I2C
SCL rychlost:	až 1MHz
Rozměry:	32 x 35 mm



**Obr. 14**      *kompas R117*

## 2 Návrh variant rozšíření senzorického subsystému robotu

Návrhy variant úzce souvisí s rozvržením stávajících senzorů a konstrukcí robotu Hercules.

### 2.1 Robot Hercules

Jedná se o čtyř kólový servisní robot vytvořen naší katedrou pro hasičský sbor. Senzorické a řídicí osazení je takové:

#### **Senzory:**

- laserový snímač vzdálenosti na rameni
- inkrementální snímače polohy v pohonech ramene
- indukční snímače parkovací polohy ramene
- akcelerometr pro měření náklonu podvozku
- stereovizní kamerová hlava na rameni
- couvací kamera na podvozku



**Obr. 15** robot „Hercules“

#### **Řídicí systém:**

- dálkové bezdrátové řízení všech funkcí z počítače

#### **Přenos signálu:**

- Radiocrafts RC1280HP (868 MHz) pro pojezd
- Wi-Fi (2,4 GHz) pro obraz z kamery (TCP)
- Wi-Fi (2,4 GHz) pro řízení ramene a signály senzorů (UDP)

Robot je vybaven stereovizní kamerovou hlavou umístěnou na začátku posledního článku manipulátoru, což umožňuje jak neustálé sledování objektu manipulace, tak rozhlížení pomocí kamer při jízdě nebo průzkumu prostředí. V prostoru mezi kamerami je integrován laserový dálkoměr s dosahem 5 metrů. Podvozek robotu je dále vybaven třetí kamerou určenou pro navigaci při jízdě vzad.

Robot je možno řídit bezdrátově z operátorského pracoviště (kufříku) vybaveného potřebnou elektronikou, akumulátorem, vysílací a přijímací technikou

a notebookem s dotekovou obrazovkou. Všechny důležité funkce je možno ovládat pomocí jediného bezdrátového ovladače (gamepadu).

Samotný robot je osazen dvojicí minipočítačů (Via EPIA a netbook Asus EE), z nichž na jednom běží serverová aplikace řídící pohyby manipulátoru a zpracovávající signály senzorů a ve druhém běží aplikace, která snímá a komprimuje obraz z kamer. Obě tyto serverové aplikace komunikují s klientskou aplikací (operátorský kufřík) pomocí Wi-Fi [5].



**Obr. 16**      *Operátorské pracoviště.*

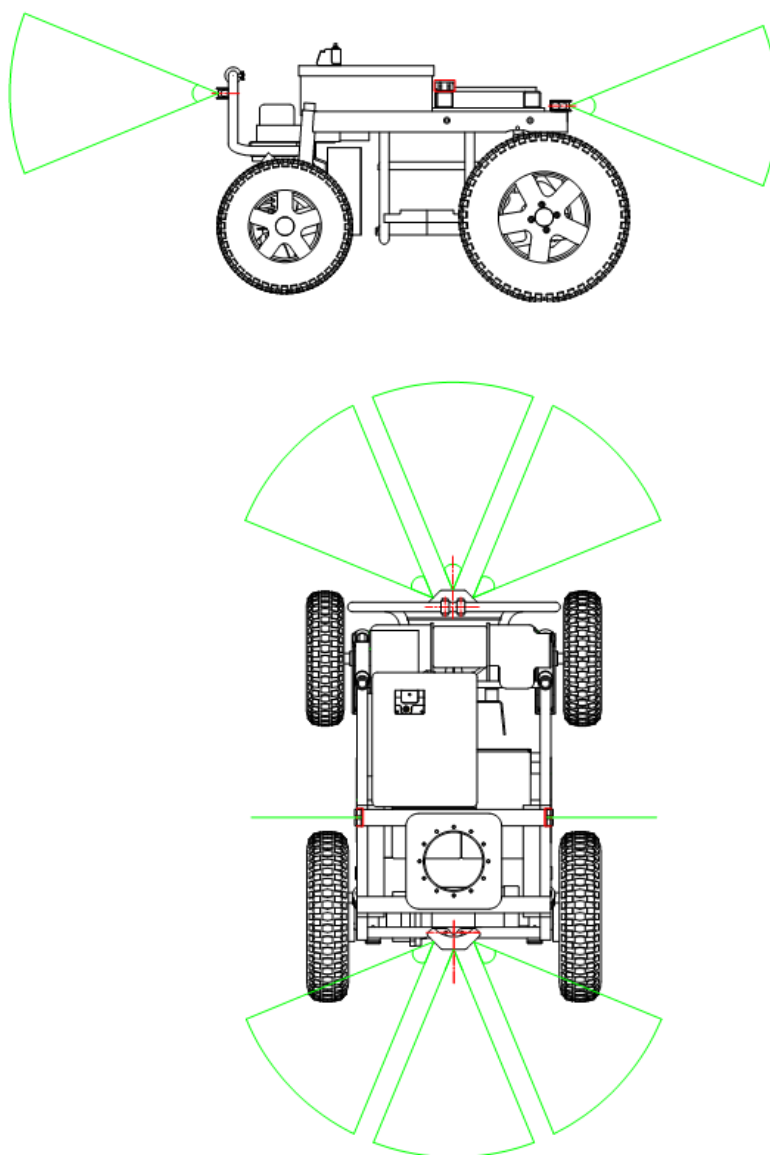
Důvod pro rozšíření senzorického subsystému je takový, že operátor za jízdy vidí pouze to, co mu ukazuje kamera připevněná na rameni a vcelku nepřehledný pohled ze zadní couvací kamery. Tudíž jsou boční strany robotu zcela slepé a operátor nevidí, co se kolem něj děje.

Pro rozšíření senzorického subsystému jsem využil tři různé kombinace sonarových, laserových senzorů a laserového skenerů. Tyto kombinace byly osazeny na podvozek „Hercula“ těmito třemi variantami.



## 2.2 Varianta číslo jedna:

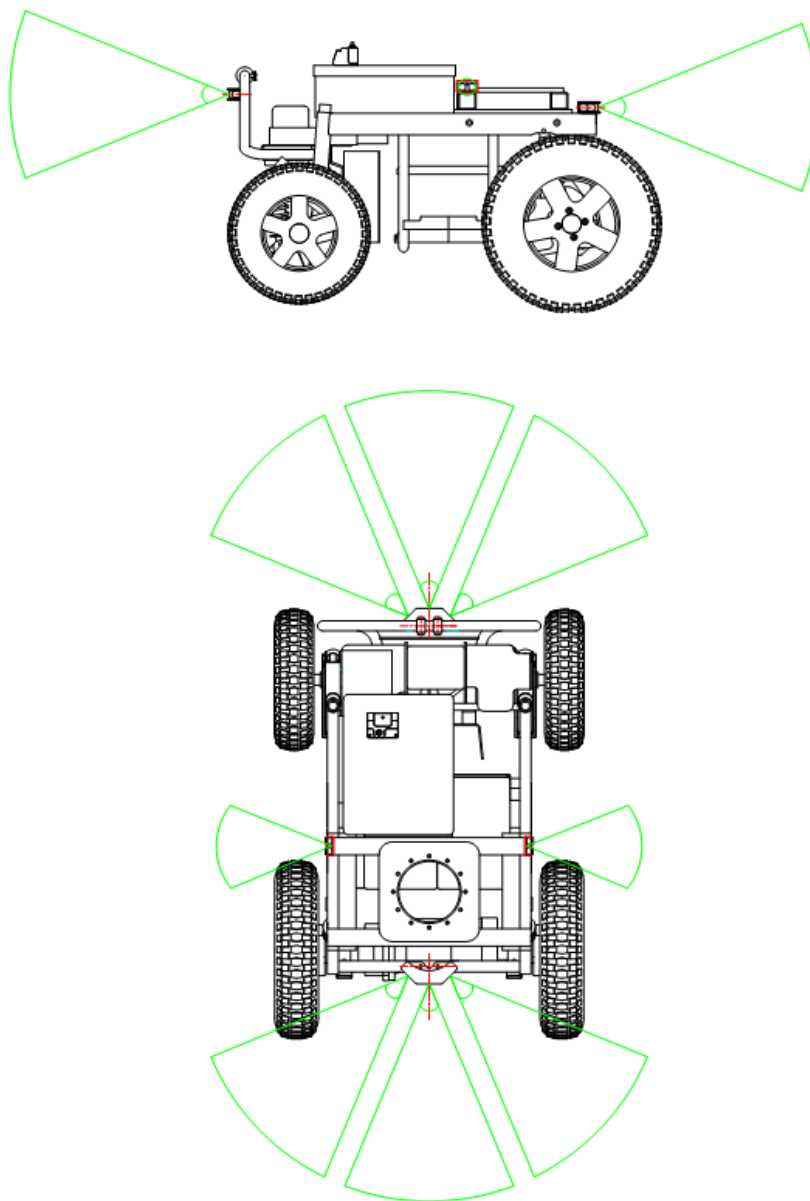
Na čelní straně je osazena skupina třech sonarů SRF08. Tyto sonary jsou vůči sobě pootočený o  $45^\circ$  tak aby zabíraly čelní prostor v rozsahu  $135^\circ$  na vzdálenost 30 – 6000 mm. Dále jsou uchyceny na mnou navrženém držáku, který bude vyroben z plastu za pomoci 3D tisku a bude přichycen ke konstrukci dvěma šrouby M4. Tento přípravek se stejným počtem senzorů je uchycen dvěma svěrnými spoji (objímkami) na zadní části robotu a na zadním nárazníku. Pro boční pozorování byly zvoleny IR senzory od firmy SHARP a to model GP2D12 s rozsahem 100 – 800 mm. Budou přišroubovány za pomoci úchytů, jež se dodávají spolu k výrobku. Toto celé bude přišroubováno ke konstrukci dle obrázku.



**Obr. 17**      *Varianta číslo 1.*

## 2.3 Varianta číslo dvě

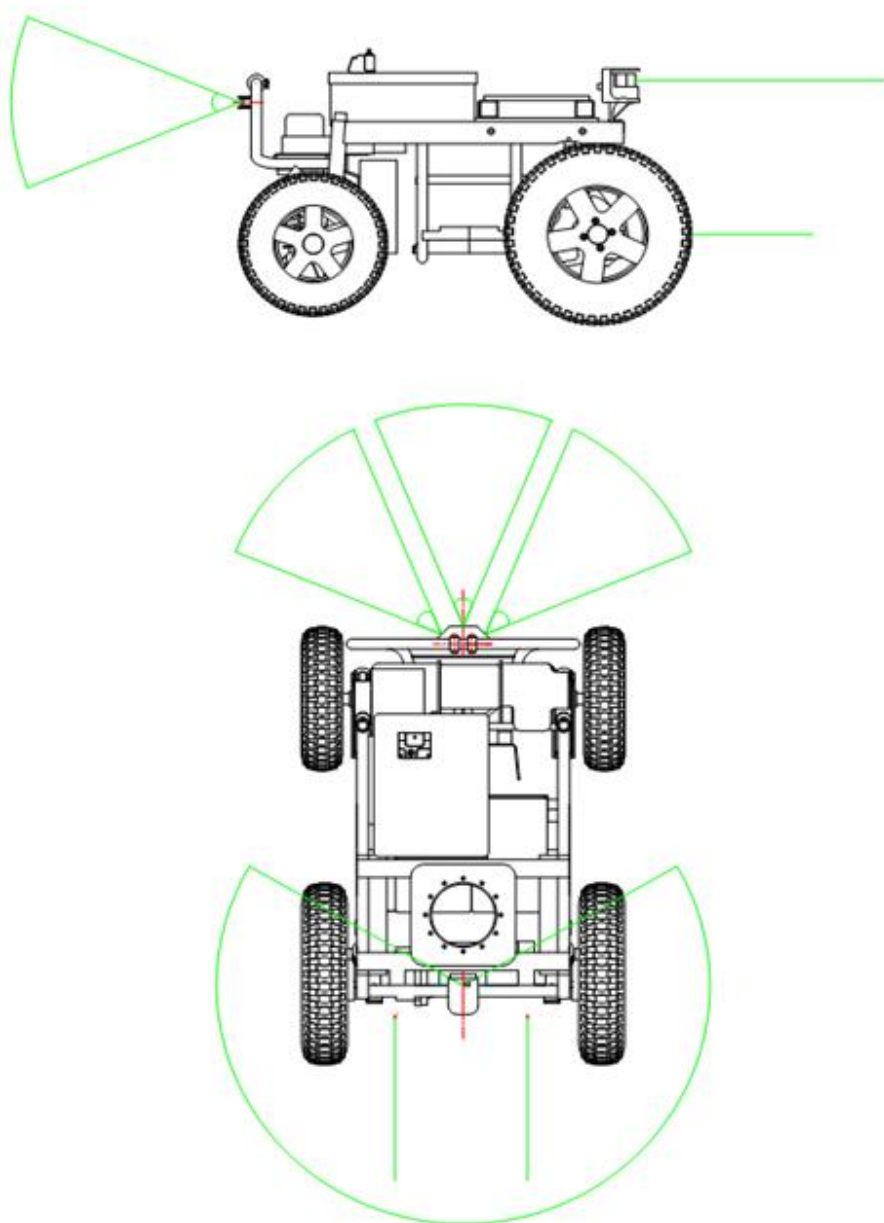
Na čelní i zadní straně servisního robotu jsou umístěny 3 sonary pootočený vůči sobě o  $45^\circ$  uchycené na přípravku jako u varianty číslo jedna. Jediná změna oproti první variantě je ta, že boční senzory zastupují sonary místo IR snímačů. Jedná se také o sonary SRF08, které jsou ukotveny na stejném místě na robotu. Jejich výhoda oproti IR snímačů je taková, že zabírají větší pozorovací pole. Upevnění je realizováno stejným způsobem jak v první variantě, a to přišroubování ke konstrukci za pomoci dodávaných úchyťů.



**Obr. 18**      *Varianta číslo 2.*

## 2.4 Varianta číslo tři

Zde oproti dvěma předchozím variantám je velká změna, a to že na čelní straně je umístěn IR skener od firmy Hokuyo UBG-04LX-F01. Ten svým rozsahem zabere i boční prostory, proto není zapotřebí na kraje dávat další senzory. Je uchycen dle obrázku k rámu Hercula, pomocí mého přípravku. Dále je v přední části dvojice IR senzorů, jež je uchycena na čelní kapotě „Herkula“. O zadní pracovní prostor se stará jak u ostatních variant trojice sonarů, upevněná na přípravku a přichycená k nárazníku, za pomoci dvou svěrných spojů.



**Obr. 19**      *Varianta číslo 3.*

## 2.5 Hodnotová analýza

Hodnotová analýza je postup, díky kterému vybereme optimální variantu. K jejímu provedení je třeba si zvolit kritéria a k nim přiřadit číselnou hodnotu podle bodové stupnice hodnocení.

### Stupnice hodnocení:

Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

### Hodnocená kritéria (funkce):

- 1) Dosah a snímací pole senzorů
- 2) cena
- 3) počet
- 4) zapojení

### Přiřazení číselných hodnot ke kritériím u jednotlivých variant:

	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium 4
<b>Varianta 1</b>	5	5	3	4
<b>Varianta 2</b>	5	5	3	4
<b>Varianta 3</b>	5	4	6	5

**Tab. 1** Hodnocení kritérií

První kritérium vyšlo u všech variant nastejno a to ohodnoceno známkou 4, což je dobrá úroveň. V druhém kritériu, které se zabývá cenou senzorického subsystému, dopadla nejhůře varianta číslo 3, jež v sobě obsahuje laserový skener, který je oproti ostatním senzorům značně drahý. Kvůli vysokému počtu senzorů na podvozku robotu byly první dvě varianty ohodnoceny v třetím kritériu pouze nízkou úrovní, čili hodnotou tři. Oproti tomu u varianty číslo 3 byla dosažena nejvyšší úroveň. U posledního kritéria, kde se srovnává obtížnost propojení se stávajícím řídicím systémem, dopadly první dvě varianty průměrně a poslední dobře, vzhledem k tomu že ve třetí variantě je skener Hokuyo a ten se připojuje pomocí USB sběrnice přímo k počítači.

### Metoda porovnávání párů:

Pomocí metody porovnávání párů (tab. 2) určíme váhy významnosti jednotlivých kritérií. Pomocí těchto vah významnosti a počtů bodů přiřazeným jednotlivým variantám můžeme spočítat konečný počet bodů jednotlivých variant (tab. 3) a tím zjistit, která je optimální. (Optimální varianta získá nejvyšší počet bodů.)

Porovnávané páry funkcí			Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
<u>F1</u>	F1	<u>F1</u>	1,5	2.	1,4
<u>F2</u>	<u>F3</u>	F4			
	F2	<u>F2</u>	1	3.	1,2
	<u>F3</u>	<u>F4</u>			
		<u>F3</u>	3	1.	2
		F4	0,5	4.	1

**Tab. 2** Metoda porovnávání párů

<b>Varianta</b>	<b>Body</b>
<b>Varianta 1</b>	<b>23</b>
<b>Varianta 2</b>	<b>23</b>
<b>Varianta 3</b>	<b>28,8</b>

***Tab. 3*** *Konečný souhrn bodů*

Z tabulky 3 vidíme, že nejvíce bodů získala varianta číslo 3, což je senzorický subsystém s IR skenerem na čelní straně robotu.

### 3 Vítězná varianta

Z výsledku hodnotové analýzy vyplývá výsledná varianta, jež se bude dále zpracovávat a podrobněji rozepisovat. Tato vítězná varianta obsahuje senzory:

- 1) Sonar SRF08
- 2) IR detektor překážek Sharp GP2D120
- 3) Laserový skener HOKUYO *UBG-04LX-F01*

#### 3.1 Sonar SRF08

Sonary budou osazeny na zadní části „herkula“. Jedná se o tři kusy tohoto zařízení, jež je vůči sobě pootočeno o 45° stupňů, aby zabíralo co největší perimetr. Navíc jsou připevněny na plastovém přípravku, který splňuje toto pootočení a zároveň i funkci krycí. Tento přípravek byl navržen v programu Pro/Engineer a bude vyroben za pomoci techniky „3D tisku“. Toto celé bude k nárazníku „herkula“ připevněno pomocí dvou ocelových objímek, které se převážně používají k přidržování plastového potrubí.

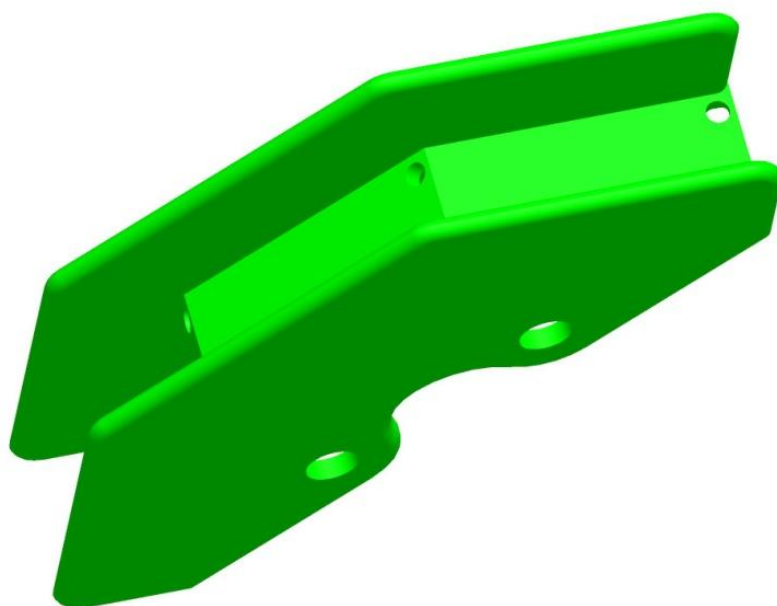


**Obr.20**      *Objímka FKS PLUS 20 – 24*

typ	katalogové ID číslo	maximální zatížení $N_{\text{amp.}}$ [kN]	upínací rozsah D [mm]	šroub	vnitřní závit A	výška matice [mm]	šířka x síla materiálu b x s [mm]	šířka B [mm]	výška H [mm]	výška Z [mm]	výška Z1 [mm]
FKS Plus 20 - 24	79471 5	0,6	20 - 24	M 5 x 25	M 8	6,8	20 x 1,25	58	45	26	19

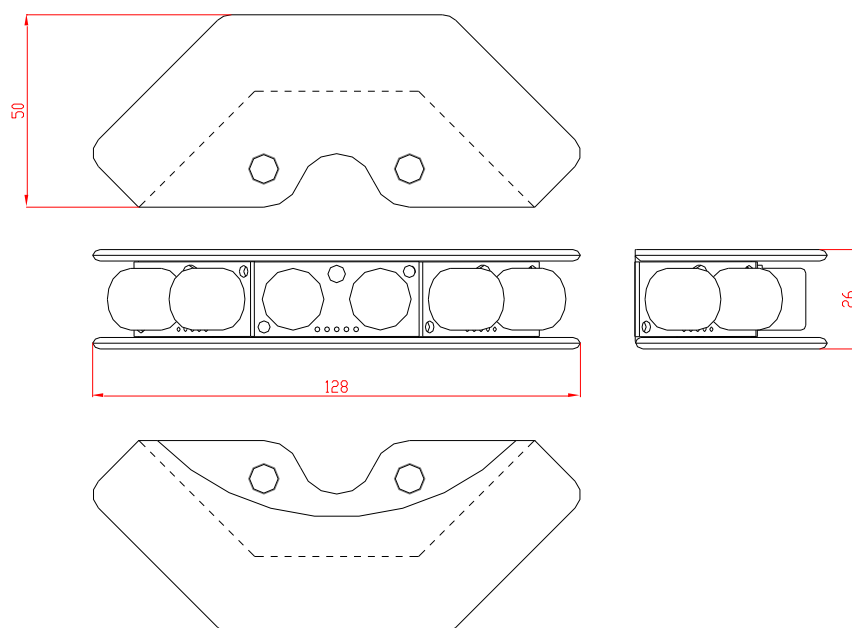
**Tab. 4**      *Tabulka rozměrů objímky.*

Nyní rozebereme parametry a jiná specifika, při zapojování tohoto sonaru do systému robotu. Začneme napájením, jež je 5 voltů při proudu 15 mA. Toto napájecí napětí je přístupné, ale není vyvedeno, čili pro realizaci by bylo nutné jej vyvést. Připojení ke stávajícímu řídicímu systému je nutné realizovat přes mikroprocesor (Atmel), jelikož výstup sonaru je uskutečněn sběrnici I<sup>2</sup>C. Z tohoto mikroprocesoru může jít signál přímo do řídicího systému robotu. Rozsah snímání je ve vzdálenosti 30 – 6000 mm, dále detekuje překážku v úhlovém rozsahu 45 stupňů. Sonar pouze detekuje, zda v daném rozsahu je překážka, ale neurčí přesnou polohu. Pro svoji kompaktnost s rozměry pouhých 43 x 20 x 17 mm je vhodný pro použití u servisních robotů. Perioda měření sonaru je poměrně vyšší a to 0,1 sekundy. Orientační cena těchto sonarů je 64 \$ za kus, což je v přepočtu přibližně 1220 korun.



**Obr. 21**      *Obrázek držáku pro řadu sonarů SRF08*





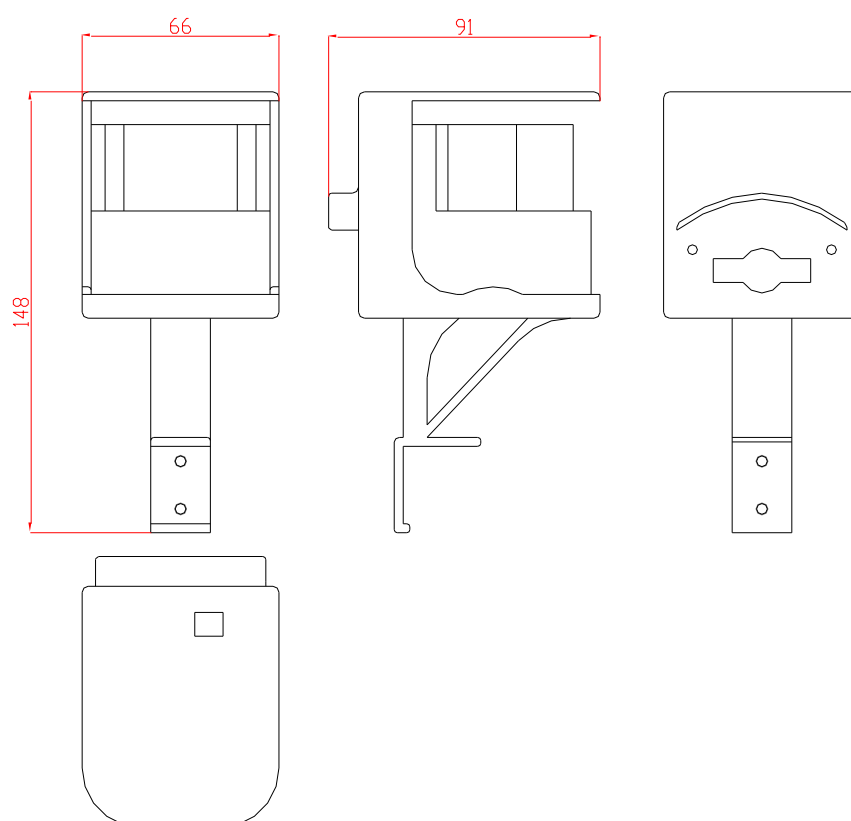
**Obr. 22**      *Rozměry držáku pro řadu sonarů SRF08*

### 3.2 Laserový skener HOKUYO UBG-04LX-F01

Pro monitorování čelní a boční strany servisního robotu byl zvolen tento laserový skener s rozsahem 240°. Bude připevněn k rámu podvozku robotu za pomoci dalšího přípravku, který bude opět vymodelován za pomoci „3D tisku“. Tento přípravek musí splňovat i funkci krytí, jelikož HOKUYO má nedostatečné krytí IP40. Toto krytí není odolné vůči kontaktu s vodou. Proto tento přípravek byl navržen pro dva účely, a to k uchycení a krytí vůči stříkající a padající vodě a nečistotám. Součástí přípravku je noha, která jej vyvyšuje nad prostor kol, aby neomezovaly skenovací prostor senzoru. Nyní senzor skenuje jen prostor ve velmi vysoké úrovni, proto je nutné dodat další senzory pro monitoring nízkých překážek, viz níže.



**Obr. 23**      *Obrázek držáku pro Laserový skener HOKUYO*



**Obr. 24**      *rozměry držáku pro Laserový skener HOKUYO*

Napájecí napětí 12V stejnosměrné s provozním proudem 370 mA. Toto napětí je také možno vyvést, jelikož je zabudované. Výstupní linka tohoto skeneru je USB 2.0, která jde přímo propojit spolu s řídicím systémem (počítačem). Doba skenu jednoho cyklu je 28 ms. Skenovací oblast je 240° a v rozmezí vzdáleností 40 – 4000 mm. Výstupní data se pak mohou zobrazit operátorovi ve formě „záření“, ale data na výstupu znázorní vzdálenost a úhel, v kterém je překážka umístěna. Tento přístroj o rozměrech 60×60×75mm a hmotnosti 185 g je velkou pomocí v oblasti servisních robotů a to díky svojí rychlé a rozměrné detekci překážek. Přibližná cena tohoto výrobku je 2850 \$ což nám v přepočtu na koruny dá sumu 54 150 Kč.

### 3.3 IR detektor překážek Sharp GP2D12

Tyto senzory budou umístěny na čelním krytu „herkula“ a to za účelem zjištění překážky ve výšce, jež by nedokázal robot přejed. Budou přišroubovány k tomuto plastovému krytu a dále musí být opatřeny dostatečným krytím vůči kapání a stříkání nečistot. Toto bylo realizováno pomocí mého krytu. Senzory budou umístěny vertikálně a to v místě zaznačeném na obrázku (Obr. 25).

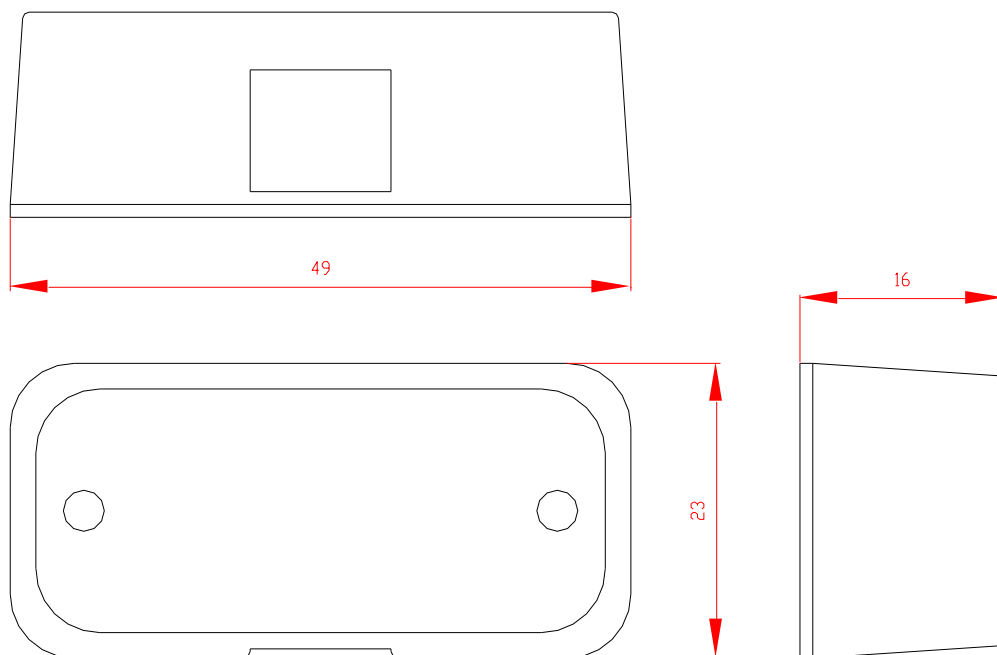


**Obr. 25** Přední kryt s naznačením umístění GP2D12

Specifika a jiné parametry spojené s použitím IR detektorů Sharp jsou následovné. Napájecí napětí je v rozsahu 4,5 až 5,5 V při provozním proudu 33 mA. Jak jistě vidíte, jedná se o stejný napěťový rozsah jak u sonarů a toto napětí je možné vyvést.



**Obr. 26**      *Obrázek krytu na IR senzor*



**Obr. 27**      *rozměry krytu*

Výstupem GP2D120 je napětí, které nám sdělí, v jaké vzdálenosti se vyskytuje překážka. Toto napětí je v analogové formě, tudíž je nutné ho převést na digitální informaci za pomoci A/D převodníku, který je obsažen v mikroprocesoru. Tedy výstup z IR detektoru jde do mikroprocesoru (Atmel) a zněj do řídicího systému. Rozsah snímání detektoru je 100 – 800 mm. Je opět velmi vhodný pro použití u servisních robotů. Doba měření pro tento druh je 70 ms. Citlivost těchto senzorů je ovšem závislá na povrchu, naklonění a barvě detekované překážky. Orientační cena je 12,5 \$ jež po přepočtu na koruny dá cenu 240 korun za kus.

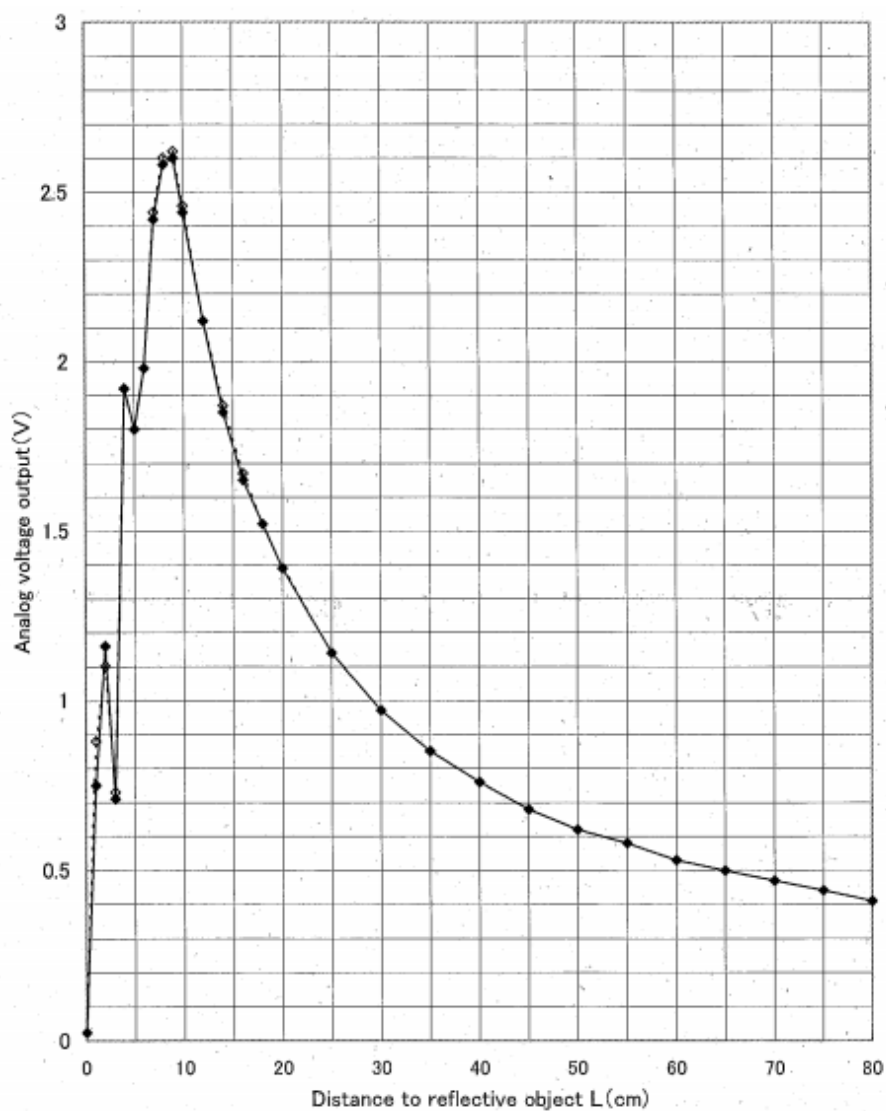
## 4 Získávání dat

Získávání dat z třech druhů senzorů používaných v tomto senzorickém subsystému je různé a liší se složitostí převodu výstupních dat do podoby, kterou dokáže bez problému zpracovat počítač, umístěn na mobilním robotu.

### 4.1 Senzory SHARP GP2D12

Jejich výstupní hodnota je ve tvaru výstupního napětí, kde její velikost udává vzdálenost překážky od senzoru. Tento signál však počítač nedokáže zpracovat, tudíž je nutné použít A/D převodník. Tento převodník je obsažen v mikroprocesoru, který bude sloužit pro převod tohoto signálu na digitální formu a výstup z něj je pak ve formě sběrnice RS232, která se pak přímo napojí na počítač. Zvolen byl mikroprocesor Atmel ATmega8 [9]. V tomto mikroprocesoru je obsažen 12 bitový A/D převodník, který dokáže rozlišit  $2^{12}$  počtu hodnot, což v přepočtu udá číslo 4096.

Závislost napětí na změřené vzdálenosti není lineární, ale je dána kalibrační křivkou poskytovanou výrobcem viz Obr. 28



**Obr. 28** Graf výstupního napětí vzhledem k vzdálenosti

Je nutné rozpracovat výstupní hodnotu na jednotlivé díly, jelikož závislost vzdálenosti na napětí není lineární a je nutné přizpůsobit graf tak, aby jej počítač mohl použít a udat výsledek. Jako první možnost jsem si zvolil metodu Lineární interpolace, což je metoda prokládání křivek za použití lineárních mnohočlenů. Pokud jsou dány dva známé body souřadnicemi  $(x_0, y_0)$  a  $(x_1, y_1)$ , lineární interpolace je přímka mezi těmito dvěma body.

Tento princip byl aplikován přímo na náš případ a vzorec pro výpočet výsledné křivky vypadá pak takto:

$$\frac{U_x - U_0}{U_1 - U_0} = \frac{x_n - x_0}{x_1 - x_0} \quad (1)$$

$$x_n = x_0 + (U_x - U_0) \cdot \frac{x_1 - x_0}{U_1 - U_0} \quad (2)$$

Tyto rovnice jsou upraveny přímo pro náš případ. Hodnota  $U_x$  je hodnota výstupního napětí, pro kterou hledáme požadovanou vzdálenost, čili hodnotu  $x_n$ .

Pro lepší vysvětlení nyní ukážeme příklad funkčnosti této metody. Máme výstupní hodnotu napětí  $U_x = 1,55$  V a chceme zjistit, v jaké vzdálenosti se nachází překážka ( $x_n$ ). Z grafu si odečteme nejbližší vyšší a nižší hodnoty ( $U_0, x_0$ ) = 1,4;20

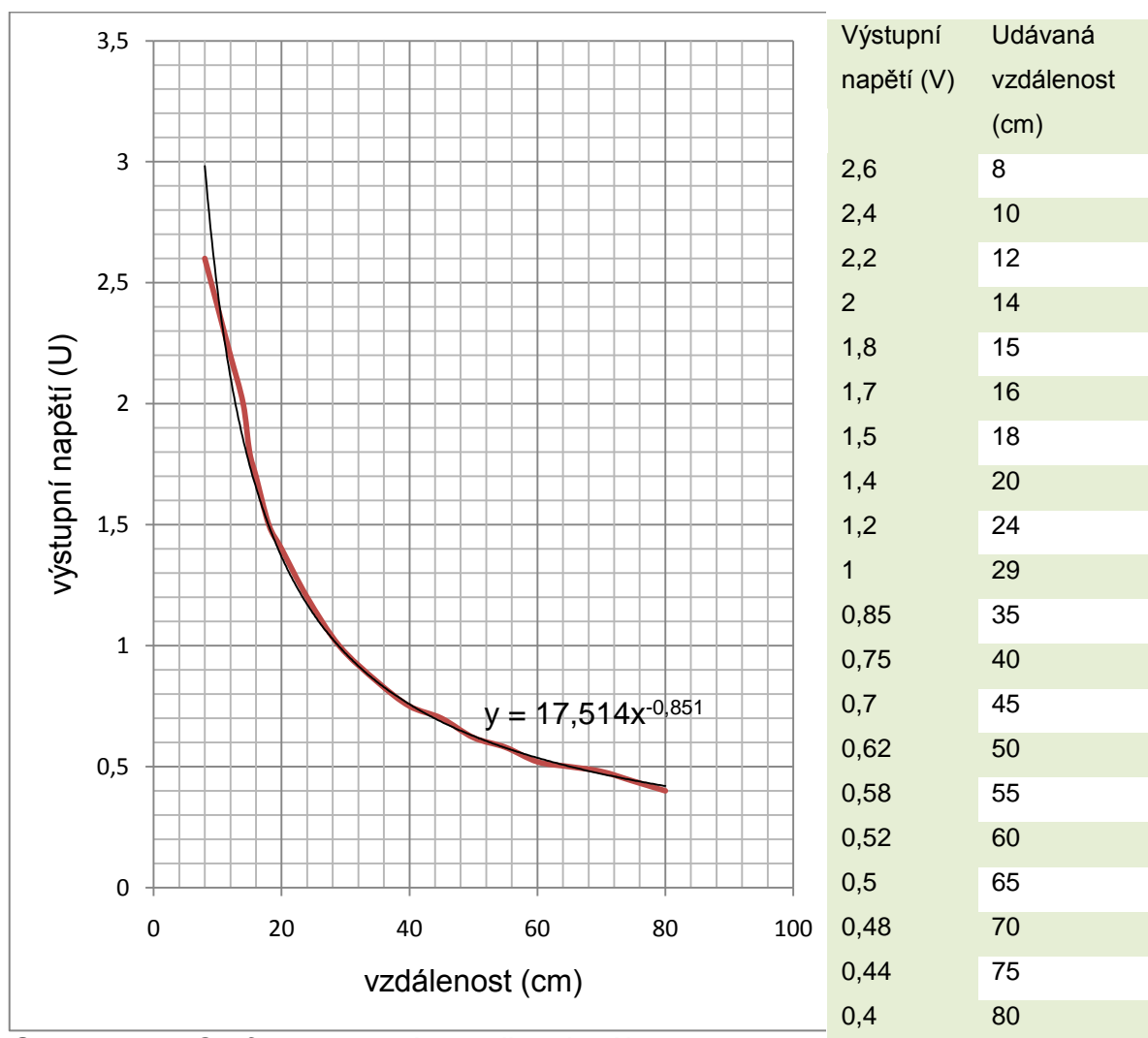
a ( $U_1, x_1$ ) = 1,5;15. Tyto hodnoty dosadíme do vzorce (2) a vyjde nám výsledná hodnota vzdálenosti.

$$x_n = 20 + (1,55 - 1,4) \frac{15 - 20}{1,5 - 1,4} \quad (3)$$

$$x_n = 17,5 \text{ cm} \quad (4)$$

Druhou možností byla zvolena metoda možnosti spojnice trendu, kterou jsem provedl za pomoci programu Microsoft Office Excel a vyšel mi výstupní rovnice křivky sledování  $y = 17,514x^{-0,851}$ . Na obrázku *obr. 29* jde vidět výstupní křivky, kde červená je požadovaná a černá vypočtená pomocí programu excel. Zde vidíte, že tyto křivky jsou téměř totožné.





**Obr. 29** Graf přepočtu výstupního signálu ze senzoru

Sharp

## 4.2 Sonary SRF08

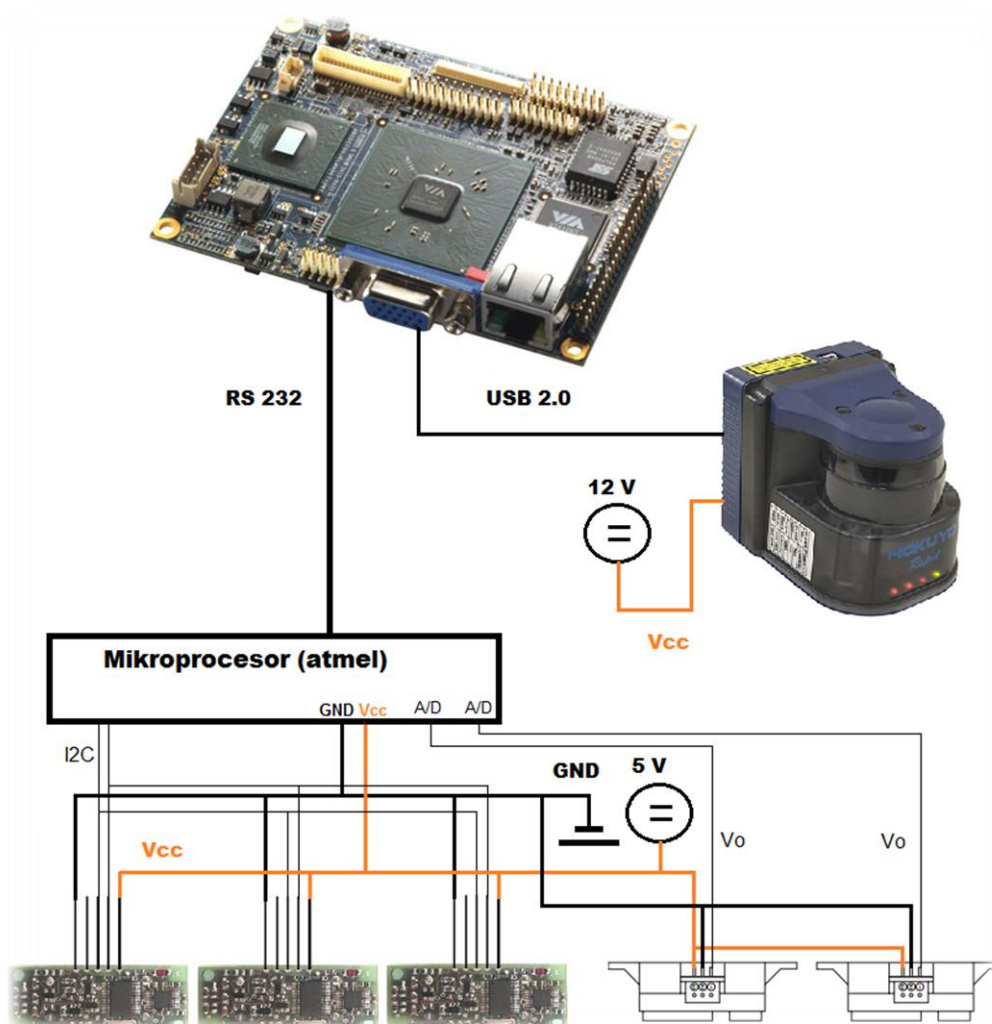
Výstupní data jdoucí ze sonarů jsou ve formě dvouvodičového datového připojení I2C, které je vzájemně propojeno a dále jde na mikroprocesor, který tyto data pošle do počítače pomocí sběrnice RS 232. Není třeba žádný přepočet. Avšak mikroprocesor neumí pracovat se všemi sonary současně, ale pouze postupně. Tudíž pošle informaci „pošli adresu“, pak zašle příkaz „měř“ a jako poslední pošle příkaz „pošli výsledky“. Toto zopakuje u těchto třech senzorů postupně a tak to provádí ve smyčce.

### 4.3 Laserový skener HOKUYO R313

U skeneru je získávání dat vcelku jednoduché, jelikož používá sběrnici USB, která jde propojit přímo s počítačem na robotu, tudíž není nutné nic přepočítávat, nebo převádět a tyto data jdou přímo. Do počítače se jen nahraje program od výrobce pro lepší správu těchto dat.

### 4.4 Blokové schéma zapojení senzorů

Zde je zobrazen návrh blokového schématu zapojení senzorů do počítače v robotu.



**Obr. 30** Blokové schéma zapojení senzorického subsystému do řídicího systému

## 5 Přenos dat

Data z použitých senzorů budou posílána za pomoci sítě wi-fi do operátorského kufríku. Na této linkové vrstvě „běží“ datově orientovaný protokol IPv4, který je používán v sítích s přepojováním paketů. Zvolená transportní vrstva je UDP.

### 5.1 Vrstva UDP

Je jedním ze sady protokolů internetu. O protokolu UDP říkáme, že nedává záruky na datagramy, které přenáší mezi počítači v síti. Někdy je označován jako *nespolehlivý*, ale to je velmi zavádějící označení. Na rozdíl od protokolu TCP totiž nezaručuje, zda se přenášený datagram neztratí, zda se nezmění pořadí doručených datagramů nebo zda se některý datagram nedoručí vícekrát. Protokol UDP je vhodný pro nasazení, které vyžaduje jednoduchost nebo pro aplikace pracující systémem otázka - odpověď [8]. Tudiž je vhodný pro naše použití, kde je důležitá hlavně rychlost přenosu dat. Nevýhody, které tento přenos dat má, v našem případě nevádí, daná ztráta dat je pro náš případ irelevantní, protože tyto data se posílají cyklicky.

Stávající aplikační protokol pracuje s „datagramy“, každý datagram obsahuje jednu samostatnou sadu dat.

command, state1, state2, value[3]

Kde:

- Command - identifikace příkazu, tedy toho co daný diagram (a jeho zbylé hodnoty) vyjadřují.
- State1 - stav a pomocné údaje. Je stejný pro všechny příkazy, ale liší se dle směru komunikace.
- State2 - rovněž stejné pro všechny příkazy, ale různé dle směru komunikace.
- Value - pole 3 hodnot představujících hlavní data pro konkrétní příkaz. Závisí na příkazu i na směru komunikace, tyto hodnoty jsou:

- Proud v motorech – tři hodnoty
- Úhel natočení motoru (z enkodérů) – tři hodnoty
- Vzdálenost z laserového dálkoměru a hodnoty naklopení z akcelerometru – celkem tři hodnoty

Robot posílá neustále pakety operátorovi s tím, že postupně dokolečka střídá příkazy command a tím smysl celého paketu. Mezi ty nejdůležitější patří:

- SENZORS, ve třech hodnotách value jsou dálkoměr a akcelerometr
- CURRENT, ve třech hodnotách value jsou proudy
- POSITION, ve třech hodnotách value jsou úhly natočení

Zde vidíme, že aplikační vrstva není přizpůsobena na to, aby zvládla přenést data, které přibýly po mém rozšíření. Tudíž bude nutno tuto vrstvu rozšířit o další pakety, které budou určeny pouze pro senzorický subsystém. Všechny senzory mimo laserového skeneru je možno posílat pomocí stávajícího protokolu s tím, že by se odlišily příkazy command a namísto jediného SENZORS pro dálkoměr ramene a akcelerometr bude SENZORS1 pro dálkoměr ramene a akcelerometr a SENZORS2 pro tři sonary SRF08 a SENZORS3 pro dva senzory Sharp. Data jsou obsažena v hodnotě value.

#### **Příkaz SENZORS1:**

- value [0] – obsahuje data dálkoměru
- value [1] – obsahuje akcelerometr osa x
- value [2] – obsahuje akcelerometr osa y

#### **Příkaz SENZORS2:**

- value [0] – obsahuje data sonaru 1
- value [1] – obsahuje data sonaru 2
- value [2] – obsahuje data sonaru 3

#### **Příkaz SENZORS3:**

- value [0] – obsahuje data IR detektoru 1
- value [1] – obsahuje data IR detektoru 2
- value [2] – nevyužitý, nulový

Pro laserový skener hokuyo je nutné vytvořit nový protokol, kvůli nadměrnému množství přenášených dat. Senzor posílá 682 hodnot o velikosti 8 byte, protože tyto hodnoty jsou v rozsahu 0 – 5000, což je zbytečné vkládat do velikosti 8 byte. Toto lze snížit do velikosti 2 byte s mírným rozlišením přesnosti. Kvůli tomuto opatření je však nutné provést přepočet při odesílání, a pak zpětný přepočet pro příjem v operátorském kufříku. Toto provedu jednoduchým přepočtem:

$$y = \frac{x}{5000} \cdot 4096 \quad (5)$$

Tento přepočet je proveden před odesláním dat do kufříku.

$$x = \frac{y}{4096} \cdot 5000 \quad (6)$$

Tento přepočet slouží k zpětnému přepočtu, který je proveden po přijetí dat v operátorském kufříku. Hodnota y znázorňuje data přenášená po síti. Hodnota x vyjadřuje vzdálenost. Takto by se přenášela data o velikosti pouze 2 byte. Následně by další paket vypadal takto:

SKENER,    y[0],y[1],...y[681]

Zde se budou posílat všechny hodnoty ze senzoru hokuyo.

Jako další možnost je přeskočit některá data, a tím snížit počet posílaných dat a zvýšit přenosovou rychlost na úkor přesnosti měření. Toto ošetření by probíhalo tak, že by se posílala jen každá druhá hodnota, tudíž by se úhel mezi vedlejšími daty zvýšil na 0,72° a výsledné množství přenášených dat by kleslo na polovinu.

## 6 Zobrazení operátorovi

Pro zobrazení operátorovi byla zvolena metoda Head-Up Display (HUD), což je průhledný displej, který prezentuje data přímo na obrazovku (okno) operátora. Tento systém má za účel zobrazit operátorovi data tak, aby nemusel dlouze vyhledávat číselné hodnoty, ale většinu zvládl intuitivně bez sklopení hlavy. Ačkoli byly původně vyvinuty pro vojenské letectví, jsou HUD systémy používány v komerčních aplikacích. Další využití je v automobilech, kde již před mnoha lety v dražších modelech bylo možno sledovat kupříkladu rychloměr, otáčkoměr a podobné [6]. V dnešní době už toto zobrazení používá velká část automobilek. S HUD systémy se v dnešní době spojuje také zobrazování dat, týkajících se postav v počítačových hrách.

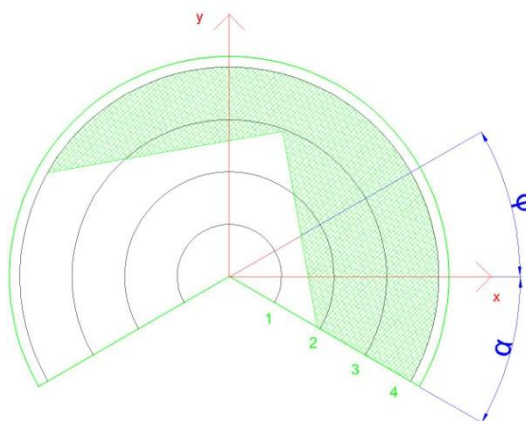
### 6.1 Zobrazení hokuyo

Hodnoty vycházející z laserového skeneru Hokuyo jsou dány dvojicemi úhlu a vzdálenosti, což představuje polární souřadný systém, který se vhodně používá pro zobrazování. Tyto hodnoty jsou nutné převést do kartézského souřadného systému.

**Transformace polárních souřadnic na kartézské:**

$$x = r \cos \varphi \quad (7)$$

$$y = r \sin \varphi \quad (8)$$



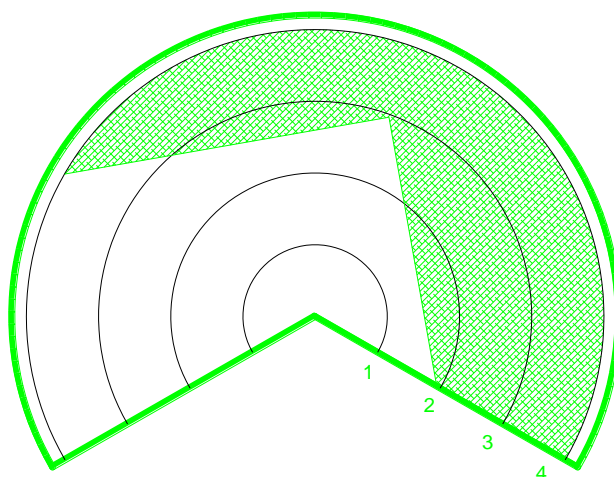
**Obr. 31**      Obrázek k přepočtu souřadnic.

Ze senzoru Hokuyou vycházejí informace pouze ve formě sady hodnot vzdáleností. Úhel se odvíjí z indexu poslaných hodnot. Dle výrobce je úhel každého kroku roven velikosti  $0,36^\circ$ . Tudíž úhel se odvíjí od vzorečku:

$$\varphi = index \cdot 0,36^\circ + \alpha \quad (9)$$

Potom výsledný úhel  $\varphi$  je ten, který udává konečný úhel, hodnota index znamená pořadí zaslané pozice a úhel  $\alpha$  je úhel mezi počátkem a osou x ( $30^\circ$ ).

Nyní přejdeme přímo ke grafickému zpracování, které bylo zhotoveno v programu AutoCAD. Pro zobrazení skeneru Hokuyou jsem zvolil polární znázorňování objektů, jež se využívá často například v námořnictvu. Toto zobrazení je na obrázku (Obr. 32) znázorněno spolu s příkladem skenování roku místnosti.

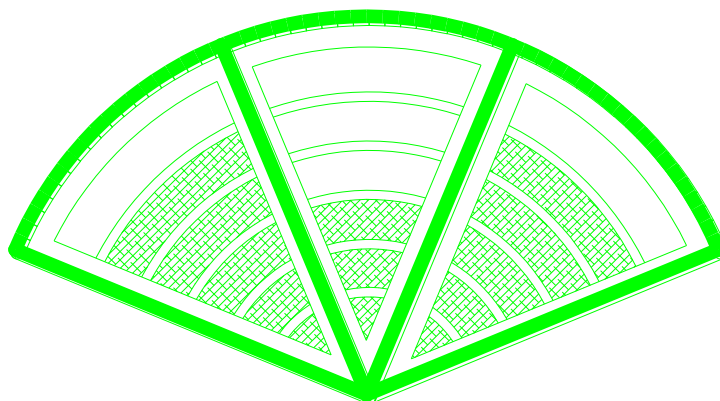


**Obr. 32**      Obrázek HUD zobrazení výstupních dat ze skeneru Hokuyo.

## 6.2 Zobrazení sonarů SRF08

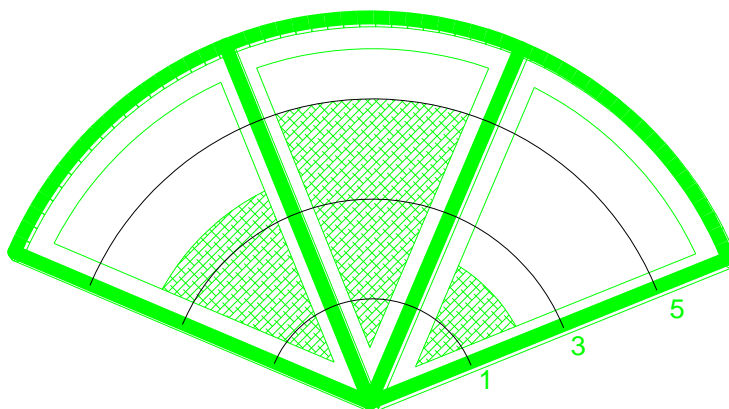
Pro zobrazení třech sonarů byla zvolena podobná varianta jako u skeneru a to polární zobrazení. Toto zobrazení jsem navrhl ve dvou variantách.

Jako první varianta bylo zvoleno zobrazení vzdálenosti pomocí třech „cípů“, které jsou pootočený o  $45^\circ$ . V každém „cípu“ je umístěno 6 obdélníků, které znázorňují detekci překážek v jejich rozsahu. Při detekci překážky v určitém rozsahu se obdélník zprůhlední jak je vidět na příkladu zobrazení v obrázku (Obr.33).



**Obr. 33** 1. Varianta zobrazení třech sonarů umístěných na zádi robotu.

Druhá varianta je obdobná jako první, avšak zde nejsou obdélníky, které ukazují detekované předměty, ale je přímo vyřazována vzdálenost, která je navíc označena popisy vzdálenosti.



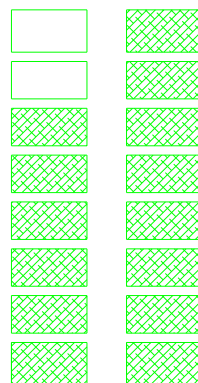
**Obr. 34** 2. Varianta zobrazení třech sonarů umístěných na zádi robotu

### 6.3 Zobrazení IR senzorů Sharp GP2D12

U senzorů GP2D12 byly zvoleny dvě varianty zobrazení.

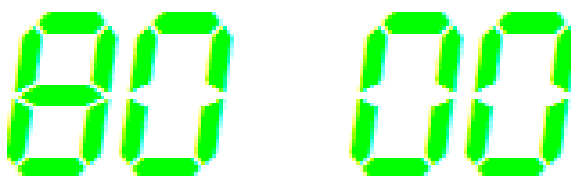
První varianta byla odvozena od zobrazování parkovacích senzorů používaných u osobních automobilů, které se promítají na čelní sklo. Toto zobrazení ukazuje dvojici osmi obdélníků, které se zprůhlední, po zjištění zda je v daném rozsahu nějaká překážka.





**Obr. 35** 1. Varianta zobrazení senzorů Sharp

Druhá varianta zobrazuje data vycházející ze senzoru formou číslic, které nejsou tak intuitivní jako grafické zobrazení, ale jedná se pouze o dvojici dvojčíslí s dostatečně velkou výškou písma.



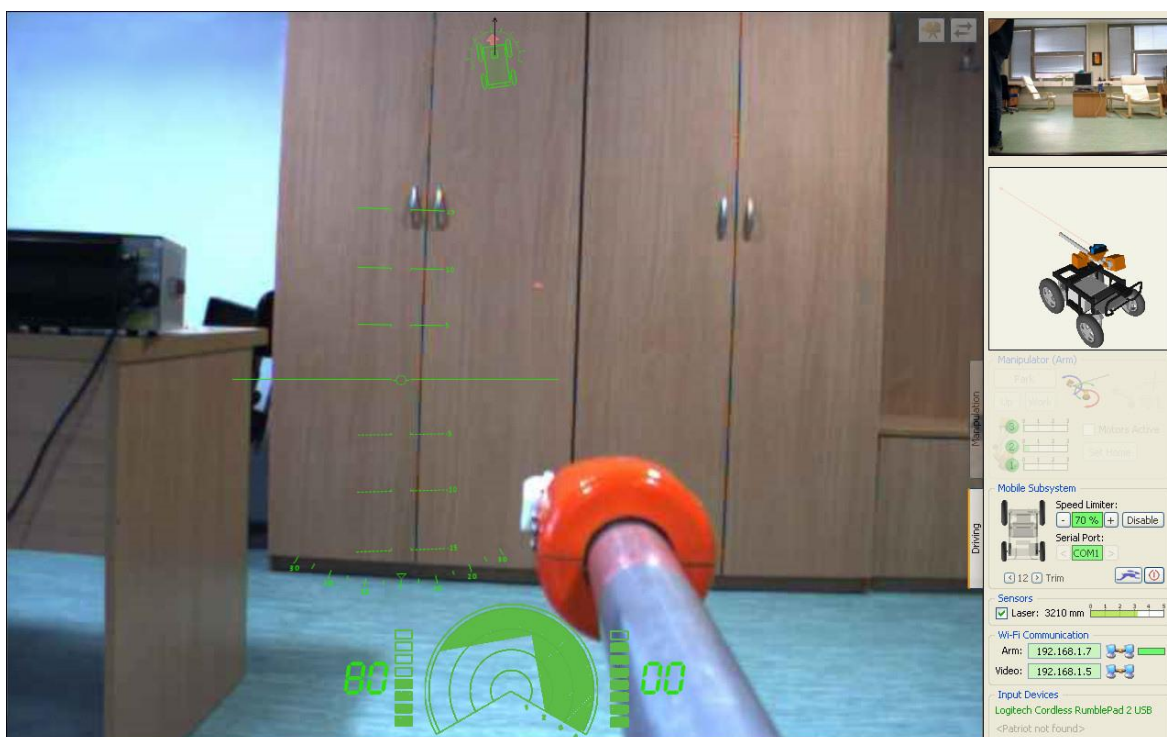
**Obr. 36** 2. Varianta zobrazení senzorů Sharp

## 6.4 Aplikace HUD zobrazení na operátorském monitoru

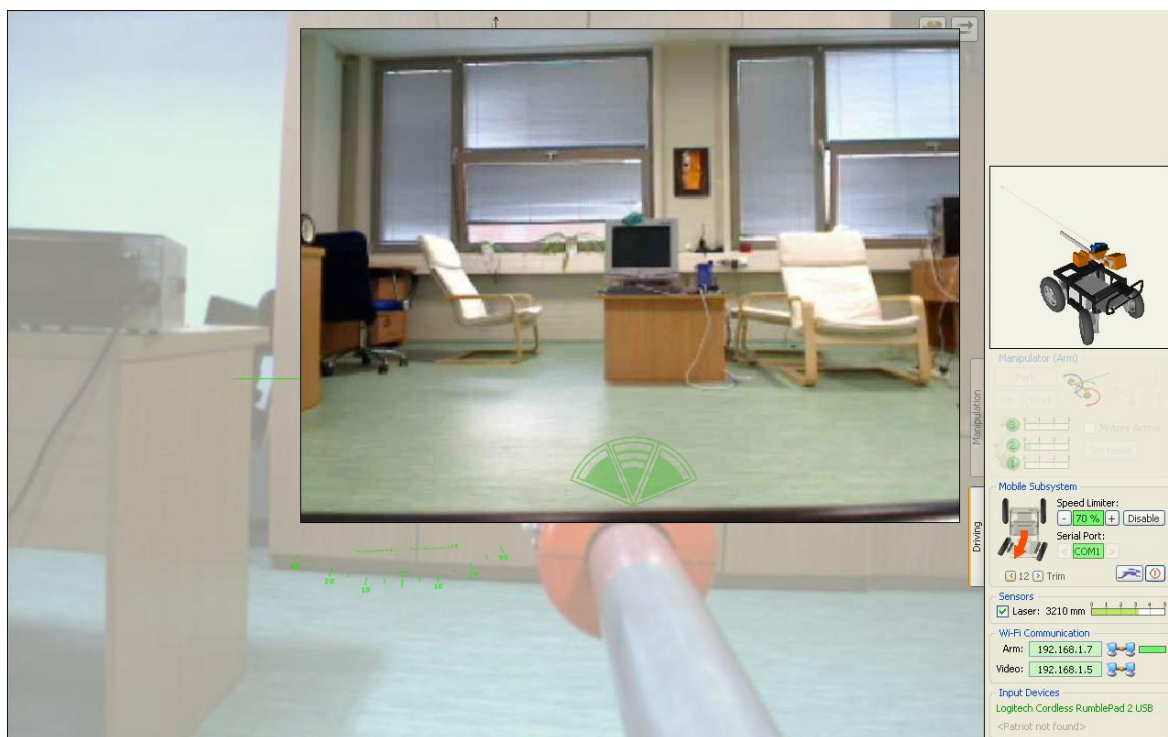
Tyto návrhy byly zváženy a posléze byly vybrány a použity v zobrazovacím okně, které je aplikováno v operátorském kufříku. Na obrázku (Obr. 37) lze vidět, jak vypadá zobrazení bez vložení mých komponentů. A na obrázcích (Obr. 38) a Obr. 39) jde vidět zobrazení po mojí úpravě.



**Obr. 37** Původní zobrazení v operátorském kufříku



**Obr. 38** Zobrazení s mojí obměnou



**Obr. 39**      *Obměna v zobrazení parkovací kamery*

## 7 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval rozšířením senzorického subsystému servisního robotu Herkules, pro lepší orientaci ve vnitřních prostorech.

Provedl jsem průzkum vyráběných senzorů vhodných pro aplikaci na tento model. Dále byla provedena rešerše stávajících senzorů, jež jsou na robotu už použity. Poté jsem vytvořil tři různé varianty osazení a umístění na podvozku robotu a pomocí hodnotové analýzy jsem vybral vítěznou variantu. Tato varianta byla více rozepsána a k těmto senzorům byly zhotoveny držáky, které splňovaly také funkci krytí vůči poškození vnějšími vlivy. Tyto držáky jsem zhotovil v programu ProEngineer ve formě 3D modelu pro jejich možnou realizaci za pomoci systému 3D tisku, který má katedra k dispozici.

Dalším krokem bylo navržení získávání dat ze senzorů a přenos do řídicího systému robotu. Byly rozebrány výstupní data z těchto senzorů a za použití mikroprocesoru byla propojena většina senzorů s počítačem. Posléze byla rozebrána stávající forma přenosu dat a obměněna o další pakety pro přenos přidaných senzorů, kde jsme použili stávající aplikační vrstvu a rozšířili jsme ji o novou vrstvu zabývající se přenosem dat skeneru hokuyo. Posledním bodem této práce je zobrazení těchto dat operátorovi, tak aby mohl intuitivně používat tyto hodnoty pro řízení robotu a nezdržoval se jejich zkoumáním. Toto bylo provedeno pomocí Head – up displays, které byly vloženy do stávající obrazovky v kufříku.

Navržené rozšíření je připraveno pro praktické nasazení a je možno ho v budoucnu realizovat.

## 8 Použitá literatura

- [1] NOVÁK, P. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [2] Vysoké učení technické v Brně [online]. [cit. 4.12.2009]. Dostupný na: <  
<http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/rpfile.php?id=6652>>
- [3] Acroname Inc. [online]. [cit. 5.12.2009]. Dostupný na: <  
[http://www.acroname.com/robotics/parts/c\\_Sensors.html](http://www.acroname.com/robotics/parts/c_Sensors.html)>
- [4] Control Engineering [online]. [cit. 18.11.2009]. Dostupný na: <  
[http://www.controlengcesko.com/menu-gorne/artykuly/artikul/article/laserove-skenery-pro-bezpecnost-pracovnich-bunek.html?tx\\_ttnews\[backPid\]=35&cHash=bc85eba93a](http://www.controlengcesko.com/menu-gorne/artykuly/artikul/article/laserove-skenery-pro-bezpecnost-pracovnich-bunek.html?tx_ttnews[backPid]=35&cHash=bc85eba93a)>
- [5] Vysoká škola báňská v Ostravě [online]. [cit. 26.3.2010]. Dostupný na: <  
<http://robot.vsb.cz/mobilni-roboty/>>
- [6] Wikiperia [online]. [cit. 29.4.2010.]. Dostupný na:  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Head-up\\_display](http://en.wikipedia.org/wiki/Head-up_display)>
- [7] RobotWiki. [online]. [cit. 4.5.2010]. Dostupný na: <  
<http://wiki.kn.vutbr.cz/robot/index.cgi?akcelerometr>>
- [8] Wikiperia [online]. [cit. 4.5.2010.]. Dostupný na:  
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/UDP>>
- [9] Atmel Corporation [online]. [cit.12.5.2010]. Dostupný na: <  
[http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_card.asp?part\\_id=2004](http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=2004)>